



# ESTUDIO PARA MEJORAR EL PROCESO DE QUIMBALETEO MINIMIZANDO LAS PERDIDAS ALTAS DE MERCURIO

realizado por  
Prof. Dr. Ing. Hermann Wotruba y Dr. Ing. Jürgen Vasters  
en el marco del Proyecto GAMA

en Huanca, Perú

Agosto a Noviembre de 2002



# ESTUDIO PARA MEJORAR EL PROCESO DE QUIMBALETEO MINIMIZANDO LAS PERDIDAS ALTAS DE MERCURIO

## ÍNDICE

	<i>Página</i>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<i>1</i>
<b>2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO</b>	<i>1</i>
<b>3. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO</b>	<i>1</i>
<b>4. LA SITUACIÓN ACTUAL DEL QUIMBALETEO EN LA ZONA SUR-MEDIO</b>	<i>3</i>
4.1 Origen y tipo de las emisiones de mercurio líquido en el proceso del quimbaleteo	<i>3</i>
4.2 El quimbalete como equipo de refinación y amalgamación	<i>3</i>
4.3 Ventajas del proceso de amalgamación en quimbalete	<i>9</i>
<b>5. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS PRÁCTICOS PARA EL MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE QUIMBALETEO</b>	<i>10</i>
5.1 Condiciones constructivas del quimbalete y parámetros de la operación	<i>10</i>
5.2 Tipos de minerales y de relaves investigados	<i>11</i>
5.2.1 Mineral sulfuroso de baja ley	<i>12</i>
5.2.2 Mineral sulfuroso de alta ley	<i>12</i>
5.2.3 Mineral de hierro oxidado de alta ley	<i>13</i>
5.2.4 Mineral de hierro oxidado de baja ley	<i>13</i>
5.2.5 Relaves	<i>13</i>
5.3 Resultados generales de los ensayos	<i>13</i>
5.3.1 Perdidas de mercurio	<i>13</i>
5.3.2 La personalidad del quimbalete y su estado de desgaste	<i>14</i>
5.3.3 Tipo de mineral	<i>15</i>
5.3.4 Granulometría de la alimentación del quimbalete	<i>15</i>
5.3.5 La vehemencia del deslame	<i>16</i>
5.3.6 Relación entre oro recuperado por el refogado y amalgama producida	<i>16</i>
5.4 Modificaciones del proceso tradicional y observaciones al proceso	<i>17</i>
5.4.1 Utilización de reactivos en el proceso	<i>17</i>
5.4.1.1 Los efectos de la soda cáustica	<i>18</i>
5.4.1.2 Los efectos del salitre de potasio	<i>18</i>
5.4.1.3 Los efectos de la cal viva	<i>19</i>
5.4.1.4 Los efectos del azúcar chancaca	<i>19</i>
5.4.1.5 Los efectos de la sal de la mesa	<i>19</i>
5.4.1.6 Los efectos del jugo de la tuna y del sodio de amalgama sobre el reprocesamiento de relaves	<i>20</i>
5.4.2 Deslame con trampa interna (cuello en el tubo de salida)	<i>20</i>
5.4.3 Deslame suave	<i>21</i>
5.5 El repaso de relaves de la piscina de sedimentación utilizando una canaleta de concentración	<i>21</i>
5.6 Trampas de mercurio instalado en el desagüe del quimbalete	<i>22</i>
5.6.1 Evaluación de los distintos tipos de trampas de mercurio	<i>24</i>
5.6.1.1 La tina en la salida del quimbalete	<i>24</i>
5.6.1.2 La canaleta equipada con placa amalgamadora	<i>24</i>
5.6.1.3 La canaleta rústica con toallas	<i>25</i>

5.6.1.4	La canaleta metálica con piezas de alfombra	25
5.7	La recuperación del mercurio líquido a partir de los concentrados con harina de mercurio	25
5.7.1	Segunda concentración de los concentrados gravimétricos por flotación	26
5.7.2	Segunda concentración de los concentrados gravimétricos por la amalgamación	27
5.7.3	Evaluación técnico-económico de la concentración de los preconcentrados gravimétricos por flotación y amalgamación	27
<b>6.</b>	<b>USO DE UN SISTEMA DE PRECONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA Y AMALGAMACIÓN DEL PRECONCENTRADO EN UN CIRCUITO CERRADO</b>	<b>28</b>
6.1	Los resultados de los ensayos con la canaleta de preconcentración	29
6.1.1	Amalgamación del concentrado de la canaleta y del material sedimentado en el quimbalete	29
6.1.2	Comparación con el proceso tradicional	29
6.1.3	Influencia de la tasa de alimentación en el proceso continuo en el quimbalete	29
6.1.4	Lavado directo del mineral polvorizado en la canaleta	30
6.1.5	Influencia del tiempo de molienda sobre la recuperación del proceso	31
6.1.6	Influencia del tipo de trampa de oro en la canaleta para la recuperación del proceso	32
6.1.7	Perdidas de mercurio en el proceso semi-continuo	33
6.1.8	Evaluación técnico-económico del proceso	34
6.1.9	La opción “win-win” para todos los actores y el medio ambiente	35
<b>7.</b>	<b>RESUMEN DE LOS HALLAZGOS MÁS IMPORTANTES DE LOS ENSAYOS</b>	<b>36</b>
7.1	Hallazgos generales	36
7.2	Hallazgos al respecto de trampas de mercurio	36
7.3	Hallazgos al respecto del manejo del quimbaleteo	36
7.4	Hallazgos al respecto del repaso de relaves con el sistema de quimbalete y canaleta	36
7.5	Hallazgos al respecto de los efectos de reactivos en la amalgamación	37
7.6	Introducción de un sistema de preconcentración y amalgamación en circuito cerrado para trabajar mineral de baja ley	37
<b>8.</b>	<b>PROYECCIÓN DE UNA PLANTA ARTESANAL DE QUIMABLETE CON CANALETA DE CONCENTRACIÓN</b>	<b>38</b>
8.1	Planificación de una planta minera	38
8.2	Mejora de la eficiencia operacional del sistema de producción: quimbalete y canaleta	39
8.2.1	Aumento de la eficiencia de la mano de obra por la utilización de tolva y aljibe	39
8.2.1.1	Tolva de material para la alimentación continua del quimbalete	39
8.2.1.2	Estanque para la alimentación continua del agua	40
8.2.1.3	Operación de canaletas paralelas	40
8.3	Diagrama de flujo en una planta artesanal de quimbalete y canaleta	40
<b>9.</b>	<b>TALLER DE DIFUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO LOGRADOS HASTA EL MOMENTO</b>	<b>40</b>
<b>10.</b>	<b>RECOMENDACIONES GENERALES PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO AMBIENTAL DEL QUIMBALETEO</b>	<b>42</b>

# ESTUDIO PARA MEJORAR EL PROCESO DE QUIMBALETEO MINIMIZANDO LAS PERDIDAS ALTAS DE MERCURIO

realizado por  
Prof. Dr. Ing. Hermann Wotruba y Dr. Ing. Jürgen Vasters  
en el marco del Proyecto GAMA  
en Huanca, Perú  
Agosto a Noviembre de 2002

## **1. INTRODUCCIÓN**

En comparación con otros procesos metalúrgicos que concentran el oro libre sin uso de mercurio o utilizando un circuito cerrado de la amalgamación para la concentración de preconcentrados, el proceso de quimbaleteo tiene una recuperación de oro relativamente alta y se destaca por sus bajos costos de inversión y operación.

Esto hace difícil pensar en un cambio de la tecnología para reemplazar el proceso del quimbaleteo tradicional con un proceso de producción limpia. Por otro lado la situación de la contaminación del medio ambiente en las zonas donde se trabaja con amalgamación en el quimbalete es preocupante y hace deseable una disminución del nivel de mercurio disipado en el medio ambiente.

Contrario a los resultados científico-metalúrgicos sobre la posible recuperación de oro libre generados en ensayos del laboratorio el proceso del quimbaleteo tiene una recuperación del oro considerablemente más alta que hace indispensable investigar directamente en el terreno las opciones de mejorar el proceso de quimbaleteo para minimizar las pérdidas altas de mercurio. Esto abrirá una alternativa tecnológica basándose en procesos tradicionales para la concentración de oro.

## **2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

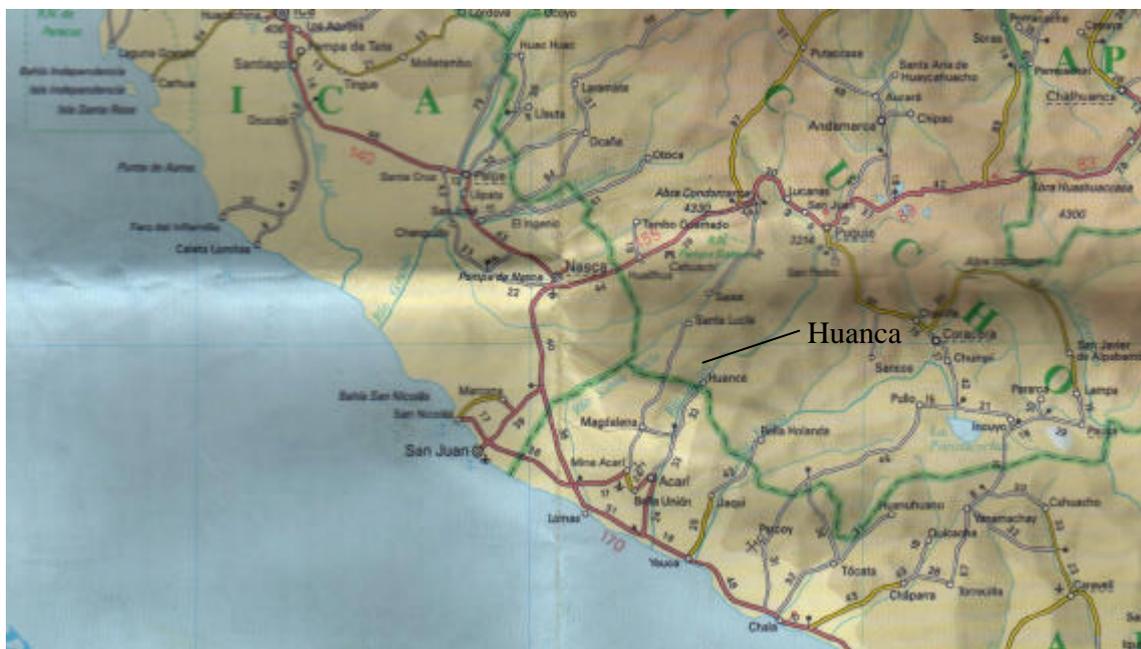
El objetivo del estudio es una evaluación técnico-metalúrgica del proceso del quimbaleteo en situ, considerando rendimiento del proceso de quimbaleteo, cuantificación del mercurio aplicado y perdido, así como la determinación del estado de mercurio en las colas. En la segunda mitad de la primera parte del estudio se debe proponer recomendaciones para el mejoramiento del proceso de quimbaleteo y de la separación de lodos de amalgama/mercurio basándose en ensayos prácticos.

## **3. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO**

La solución más sencilla y eficiente para la reducción de las emisiones de mercurio líquido sería el abandono de los quimbaletes y su sustitución por la venta directa de mineral bruto a las plantas de cianuración ya existentes en las zonas mineras. Mientras no se puede lograr una comercialización y negociación en términos equitativos entre los mineros artesanales y los propietarios de las plantas de cianuración, el uso del quimbalete es indispensable para la economía de subsistencia del minero artesanal.

Las posibles soluciones del problema planteadas por la investigación deberían ser generales y no específicamente dirigidas solamente a un o varios tipos de minerales, ya que los mismos quimbaletes están utilizados por diferentes mineros artesanales, procesando minerales provenientes de diferentes minas y por lo tanto con características mineralógicas diferentes (óxidos, sulfuros, oro fino y grueso, material de ganga). Por este motivo y porque el funcionamiento específico del quimbalete es difícil de reproducir a escala de laboratorio se prefirió una investigación en situ.

Como zona minera para la realización de la investigación se escogió Huanca, ubicada en el Departamento de Ayacucho en el Sur-Medio de Perú (ver mapa de la zona), que muestra en los yacimientos todos los diferentes tipos de minerales auríferos y tiene una buena infraestructura para una investigación en situ. Además los mineros de la zona Huanca se mostraron altamente motivados de apoyar una investigación de esta índole.



Mapa del sur-oeste de Perú

Para la realización de este estudio se escogió un enfoque empírico-práctico para mostrar soluciones posibles de la problemática ambiental del mercurio en el quimbaleteo, basándose en conocimientos de expertos y en experiencias hechas en otros países.

En particular se investigaron las opciones de reducir las pérdidas de mercurio en el proceso del quimbaleteo por la

- utilización de reactivos en el proceso
  - cambios del diseño y en el manejo del quimbalete
  - recuperación del mercurio perdido en trampas del mercurio
- y por él
- uso de un sistema de preconcentración gravimétrica y amalgamación del preconcentrado en un circuito cerrado, que funciona semi-continuamente.

Para una investigación de posibles mejoras “en situ” se trabajó en forma paralela en los quimbaletes de dos plantas de beneficio en Huanca, separando en cada ensayo el mineral a procesar en partes iguales y comparando las pérdidas de mercurio así como, la recuperación de amalgama (y con eso inherentemente del oro) ocasionadas en el quimbalete que trabaja “normal” y sirve de referencia, con las del quimbalete modificado en la operación. De tal forma no se trabaja en base de comparación de recuperaciones sino de cantidades. Esto a la vez elimina la necesidad de contar con análisis de oro de la cabeza del mineral, del mercurio y del oro de los diferentes productos del proceso, reduciendo las consecuentes dificultades logísticas de obtener los resultados en un tiempo oportuno.

#### **4. LA SITUACIÓN ACTUAL DEL QUIMBALETEO EN LA ZONA SUR-MEDIO**

##### **4.1 Origen y tipo de las emisiones de mercurio líquido en el proceso del quimbaleteo**

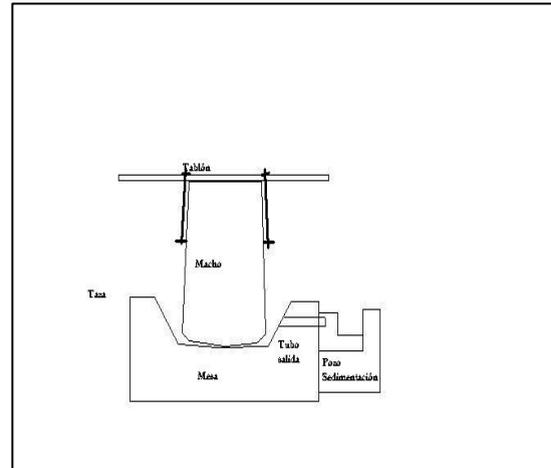
Emisiones del mercurio líquido se producen en la minería artesanal peruana por la pérdida de mercurio durante el proceso de molienda y amalgamación de los minerales de cabeza en quimbaletes. El mercurio líquido perdido en el proceso se encuentra en gran parte en los relaves del proceso del quimbaleteo. En algunos casos pueden ocurrir derrames de mercurio líquido durante el manejo del mismo, que pueden contaminar los suelos en los ingenios de quimbalete.

##### **4.2 El quimbalete como equipo de refinación y amalgamación**

El quimbalete es una suerte de mortero de gran tamaño (ver foto 1 y dibujo 1). Esta compuesto por una piedra cincelada a pulso para darle una forma ligeramente ovalada en su base, que permita un movimiento de vaivén con un mínimo esfuerzo. En el Sur-Medio las dimensiones del mortero son generalmente 70 – 100 cm por 35 - 55 cm de sección y 50 - 80 cm de alto, y en la parte superior del mismo se fija un tablón horizontal para sostener al operador, sin embargo estas dimensiones son solamente referenciales, ya que varían de localidad a localidad. La base del quimbalete o mesa es una roca plana en su parte superior, que ha sido tallado también a pulso. Utilizando cemento y rocas se construye una pared perimétrica para formar la taza del quimbalete. Un tubo empotrado en la parte inferior de la pared frontal permitirá la descarga controlada de la pulpa al final de la operación. El costo de construcción de un quimbalete es de aproximadamente 300 \$ US, sin incluir el transporte de las piedras al lugar de destino. El sueldo del picapedrero para tallar la piedra y mesa así como también construir la taza es aproximadamente 600 Soles. Para la construcción de la tasa del quimbalete se utilizan aprox. 5 bolsas de cemento y una cantidad de 300 – 400 Kg de piedras canteadas. Las piedras para la mesa y para el macho se buscan en el río Acarí y se las arrastran con un tractor al lugar de la construcción del quimbalete (2).



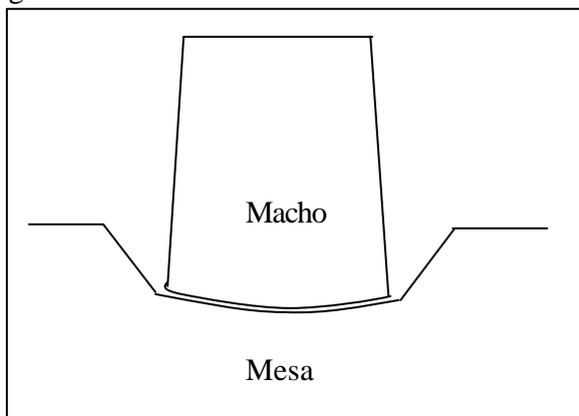
Foto 1: Taza, macho y operador del quimbaleta



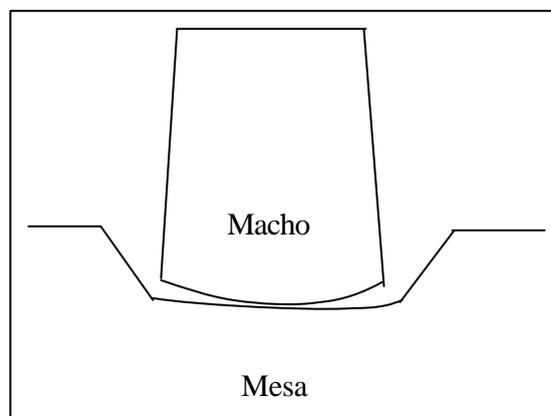
Dibujo 1: Sección esquemática del quimbaleta

El quimbaleta puede tener una vida útil hasta 8 a 10 años que depende de la intensidad de su uso y de los tipos de materiales de construcción de la piedra y de la mesa. Normalmente se utiliza un basalto o un granito para los trabajos de tallar el quimbaleta. Un quimbaleta construido con basalto resulta más duro y tiene por eso más vida útil. Por otro lado un factor importante para la vida útil del quimbaleta es la dureza del material procesado. Según los criterios de los operadores refina el quimbaleta duro mejor que el blando sin embargo las pérdidas de mercurio deben ser iguales en ambos tipos de quimbaleta

Trabajando continuamente el quimbaleta necesita cada 2 a 3 meses un reacondicionamiento por un picapedrero devolviendo a la piedra y mesa gastada en la operación su forma ovalada original (picando volante). El desgaste en la operación resulta en una forma redondeada de la superficie de la mesa y en la disminución de la curvatura de la piedra previniendo un movimiento liso de rodadura de la piedra sobre la mesa. En vez de eso, el desgaste provoca un movimiento tambaleante golpeando el mineral y el mercurio (chancar el mercurio) generando en este estado también una gran pérdida de harina de mercurio. Por el otro lado la recuperación de oro se mejora si el quimbaleta está “chancando”. Los dibujos siguientes 2 y 3 muestran esquemáticamente un quimbaleta recién picado y un quimbaleta gastado.



Dibujo 2: Quimbaleta gastado



Dibujo 3: Quimbaleta recién picado

Como consecuencia los planteros aspiran a mantener sus quimbaletes en buen estado para mejorar la ley de los relaves producidos, mientras que los mineros, que conocen el comportamiento de los quimbaletes buscan quimbaletes que golpeen para mejorar la recuperación de oro.

En general las pérdidas de mercurio líquido se producen, durante el proceso de amalgamación por el continuo “quimbaleteo” (movimiento de la piedra “macho” sobre la base), que causa que el mercurio se disgregue en partículas finas (perlitas de mercurio) o muy finas (conocidas como “harina de mercurio” o “mercurio quemado” que en ciertas condiciones puede hasta flotar), que han perdido su capacidad de captar las partículas de oro libre y que, por rebose de los quimbaletes, son arrastradas conjuntamente con el relave al pozo de sedimentación. Las perlas y perlitas de mercurio que se pierden en el proceso y que fácilmente son visible a simple vista tienen un tamaño de 0,5 mm hasta 1 mm, que normalmente es recuperable en una trampa simple como en una tina plástica puesta debajo de tubo de salida del quimbalete o en el pozo de sedimentación construido entre quimbalete y piscina de sedimentación y llamado “chocha”. La harina de mercurio puede ser vista solamente después de una concentración de los relaves con platón o challa. Una microscopía de la harina revela que la granulometría de la harina de mercurio va de 10 a 30 micrones.

Bajo ciertas condiciones de la molienda en el quimbalete existe también la posibilidad de perder mercurio y oro en forma de floculas de amalgama, que son partículas laminadas de oro de poco grosor amalgamadas en los bordes por partículas de mercurio aumentando así la superficie total de la placa. Estas floculas de amalgama pueden flotar fácilmente y están arrastrado por el flujo de la pulpa que sale del quimbalete durante el deslame.

Las pérdidas de mercurio dependen en cierta medida de la cantidad de mercurio utilizado en el proceso y la duración de la amalgamación de tal manera que un exceso o una escasez de mercurio en la amalgamación y un tiempo demasiado largo de la amalgamación producen un aumento de las pérdidas de mercurio en forma de harina. Las pérdidas de perlas de mercurio son en particular condicionadas por el nivel de las turbulencias en la pulpa durante el deslame del quimbalete.

Se considera la zona Sur-Medio, debido a la mineralogía del mineral, como zona donde más se pierde mercurio, llegándose a utilizar de 1 a 2 Kg de mercurio por quimbalete y día. En promedio se pierde hasta 250 grs. de mercurio para recuperar 3 a 10 grs. de oro por quimbalete y día, que corresponde a un consumo específico de mercurio de aprox. 0,75 Kg por tonelada material de baja ley procesado o de 22.5 a 75 Kg de mercurio por 1 Kg de oro producido.

En la zona Sur-Medio el mineral generalmente es previamente triturado en molinos de bolas cerrados y luego la amalgamación se realiza en grandes quimbaletes, mientras que en Puno (La Rinconada-Cerro Lunar) el mineral se procesa directamente en quimbaletes de menor tamaño, diferencia que se debe a las características mineralógicas del oro y en particular la ley más alta del mineral que se explota en Puno.

En la zona Sur-Medio también se procesa los minerales con leyes superiores de 60 grs.Au /t (mineral chanco) sin molienda previa directamente en el quimbaleta, después de un chancado a mano para triturar el mineral a una granulometría menos de 2 cm, que normalmente se efectúa en la mina para poder seleccionar mejor el mineral.

En particular en la zona de Huanca las partes de vetas con altas leyes en oro se encuentra cada vez menos frecuentes y por lo tanto aquí la molienda previa del mineral una etapa estandarizada del tratamiento del mineral. El agotamiento de yacimientos de altas leyes y el aumento en los costos de explotación resultó en una disminución de la producción de la minería artesanal con la consecuencia que hoy en día se utiliza en Huanca tal vez 30% de la capacidad instalada de plantas de quimbaletes.

Si el mineral es de alta ley y triturado directamente en el quimbaleta el ritmo promedio de procesamiento es una lata (aprox. 35 Kg) en 4 horas, e incluso el tiempo puede resultar mayor si la ley es muy alta.

Cuando la ley del mineral es considerada baja se muele en molinos de bolas discontinuos, de 220 a 450 Kg. (7 a 15 latas) de capacidad y accionados por motores independientes de combustión interna o acoplados al eje de tracción de tractores agrícolas.

Un molino típico polvoriza una carga de 400 a 450 Kg de mineral en una hora y media a un grado suficientemente fino para la refinación en el quimbaleta. La molienda se hace por general en seco, pero no con el propósito de ahorrar agua, pues el mismo molino es usado por diferentes mineros el mismo día. La recuperación y calidad del oro, y la recuperación del mercurio es mucho mayor en el procesamiento directo que con el procesamiento previo en la molienda. La diferencia es más notoria cuando los minerales contienen minerales oxidados de cobre y sales solubles. (2<sup>1</sup>)

**Foto 2 : Molino a bolas**



---

<sup>1</sup> Las cifras en paréntesis se refieren al índice de literatura

En la zona Sur-Medio, donde el oro ocurre principalmente en forma de óxidos o como pirita aurífera, y los relaves tienen alto contenido aurífero (se estima que los mineros solo recuperan por la amalgamación el 40 a 50% del oro total), los dueños de quimbaletes se quedan con los relaves a cambio del servicio del “quimbalete”. Por lo que los relaves son comprados y finalmente reprocesados en plantas de cianuración, (en el caso de Huanca la empresa minera Dynacor opera una planta de cianuración en vecindad del pueblo, ver **Anexo 1**: Diagrama de flujo de la planta Dynacor), donde se recupera el oro y también parte del exceso de mercurio perdido en los relaves.

La tarifa para la compra de mineral bruto o relaves se calcula considerando el peso seco, la ley de cabeza, un factor de recuperación, que varía de 90% para mineral de óxido y baja hasta 74% para mineral fuertemente sulfuroso, el precio al día del oro y una maquila de acuerdo a la ley del mineral que fluctúa entre \$ 35 a \$ 70 US. Es preciso saber, que una ley alta de oro en el mineral o los relaves causa costos adicionales en el proceso de recuperación y por ende la maquila aumenta proporcional con la ley hasta el tope de \$ 70. Por ejemplo una ley de 0,3 onza de oro por tonelada resulta en una maquila de 35 \$ por onza de oro y una ley de cabeza de 0,7 onza por tonelada resulta en una maquila de \$ 70 US por onza de oro fino contenido en el mineral. Leyes arriba de 0,7 onza por tonelada también arrojan la misma maquila de \$ 70 US por onza de oro contenido en el mineral.

Se estima en 70 toneladas anuales de mercurio la pérdida de mercurio líquido en los relaves solamente en la zona Sur-Medio, desconociéndose lo recuperado en las plantas de cianuración. (1) Mientras algunos profesionales aseguran, que la recuperación del mercurio en el procesamiento de clasificación, remolienda y cianuración en las plantas es prácticamente completo, hay otros, que informan, que la recuperación es mínima, terminando la mayor parte del mercurio en los relaves finales de la cianuración. No se dispone de análisis representativos de los relaves finales de las plantas de procesamiento de cianuración, pertenecientes al subsector de la pequeña minería, que siempre tiende a retener informaciones ambientales teniendo temores de provocar las sospechas de las autoridades y de la población local.

En el caso de la planta de cianuración de la empresa Dynacor se puede concluir del proceso aplicado, que consiste en la primera etapa de concentración después de la molienda o refinación en el molino a bolas de una concentración gravimétrica en una centrífuga de marca Knelson con el objetivo de recuperar el oro de tamaño grueso, seguido por la cianuración de la pulpa en estanques agitados para producir carbón activado cargado con oro y la flotación como etapa final para la recuperación del oro fino todavía no captado. Un proceso complejo, en que es sumamente improbable, que los relaves finales tengan aún niveles de mercurio elevados porque cada etapa del proceso tiende también de concentrar el mercurio.

El tranque de relaves actual de la planta Dynacor que recibe finalmente los relaves del proceso tiene en primera vista un diseño seguro (ángulo de talud estable, drenaje del tranque y recuperación de las soluciones drenantes, crecimiento en escalones cubiertos con piedras para reducir la generación de polvo, distancia segura hacia el río y las viviendas),

reduciendo el riesgo que material de relaves, que eventualmente contenga mercurio, puede repartirse en el valle del río Acarí.

El proceso de quimbaleteo que realizan los mineros artesanales consiste en moler y amalgamar el mineral durante el tiempo necesario, normalmente 25 a 30 minutos para una carga de mineral de baja ley y hasta 2 a 3 horas para una carga de alta ley. Para mineral con alto contenido de pirita el tiempo necesario para la amalgamación de una carga es 30 minutos. Después se deslama la pulpa evacuando los sólidos finos suspendidos con el movimiento del quimbalete, agregando simultáneamente agua en exceso (ver foto 3). La pulpa del deslame se dirige a la piscina de sedimentación. Deslamado en tal manera se carga el quimbalete de nuevo con mineral fresco continuando con el proceso de molienda y amalgamación. Normalmente en el final del día después de amalgamar todo el lote de mineral previsto para el quimbalete (240 a 300 Kg), se evacua en el deslame final la gran parte del mineral finamente molido, quedando en el fondo el material más pesado, el mercurio y la amalgama. Ahora se levanta la piedra moledora del quimbalete con una palanca y se recupera, después de asegurar la posición segura del macho, del fondo de la piedra base el mercurio líquido junto con la amalgama. Esta última etapa se llama “liquidación” (ver foto 4).



Foto 3: Deslame Quimbalete



Foto 4: Liquidación Quimbalete

Posterior a la recuperación del mercurio con la amalgama líquida, el mercurio es filtrado por una tela, y luego exprimido en el paso de “ahorcado” de la amalgama, quedando la habitual bola de amalgama a ser posteriormente “refogado” (quemado) para obtener el oro. En Huanca se utiliza para la quema de la amalgama un retortón de uso común, que permite la recuperación de aprox. 90% del contenido de mercurio de la pella. Actualmente el retortón recupera alrededor de 12 Kg de mercurio por mes produciendo de 4,4 Kg. (composición la amalgama 3 partes Hg y 1 parte Au) a 6,6 Kg. de oro (composición de la amalgama 2 partes Hg y 1 parte Au) por mes solamente en la zona de Huanca. A pesar de recuperar mercurio en el proceso de la destilación las emisiones de vapor de Hg por mes que aún se pierden se estiman a aproximadamente 1,3 Kg.

En algunas zonas del Sur-Medio los dueños de los quimbaletes además se encargan del proveer de agua a quienes les traigan mineral para procesar, del transporte del mineral de la mina a la planta, y en algunos casos hasta explosivos provisionados por plantas de cianuración que acopian los relaves. El dueño de la planta, por lo general, asume los costos

de molienda y mercurio; quedando a cargo del dueño del mineral la operación del quimbaleta, el cual puede ser operado por el mismo o contratando a un tercero. El sueldo del quimbalero fluctúa de 25 a 30 Soles. La retribución de los servicios de beneficio que dan estos propietarios de ingenios a los mineros artesanales es la entrega, por éstos, de los relaves. Estos relaves, a su vez, son vendidos a plantas de cianuración establecidas en la zona y pagados de acuerdo al contenido de oro (ver arriba). (1)

El rango de recuperación de oro en el proceso del quimbaleta se reporta en la región del Sur-Medio habitualmente como entre 40 y 50%. Esta apreciación es el resultado de la comparación vivencial a largo plazo entre la cantidad de oro recuperado en forma de amalgama de parte de los mineros artesanales y los resultados de análisis de los relaves que forman la base de la venta de los mismos a las plantas de cianuración.

Uno de los motivos para esta situación parece ser el alto contenido de oro fino, difícil de amalgamar, y a la vez difícil de recuperar mediante procesos gravimétricos.

### **4.3 Ventajas del proceso de amalgamación en quimbaleta**

La amalgamación en el quimbaleta se basa en dos principios; la amalgamación por presión con una fuerza en exceso de la fuerza de gravedad y la amalgamación por mezclado, en que el mercurio se dispersa en la pulpa en gotitas relativamente pequeñas, aumentando en esta manera la extensión de la superficie del mercurio con el agua y consecuentemente la posibilidad del mercurio de entrar en contacto con partículas de oro, engullendo a metales liberados con superficies limpias, en particular al oro y a la plata y también al cobre cuando está presente. La gran densidad de la amalgama (mayor que 15 grs./cm<sup>3</sup>) y la del propio mercurio (13.6 grs./cm<sup>3</sup>) permite que los mismos se sienten al fondo de quimbaleta, una vez parado el movimiento de la piedra y puedan separarse del resto del mineral que permanece inalterable en la pulpa.

Aparte de su característica amalgamadora el quimbaleta funciona también como equipo de refinación en el caso de la molienda previa en el molino a bolas, o como equipo de molienda para mineral bruto. Trabajando en un ritmo de 25 minutos aproximadamente 24 Kg de mineral polvorizado con 39% del peso menor de una granulometría de # 100 se consigue una refinación del mineral a una granulometría de 66 % de peso pasante de # 100.

El proceso de atrapamiento del oro o plata por el mercurio en el quimbaleta asegura las tres condiciones necesarias para una amalgamación exitosa. Esas son:

1. Que el oro o la plata estén en estado metálico en la pulpa con superficies limpias por acción de molienda del quimbaleta.
2. La generación de posibilidades en entrar en contacto del mercurio con la partícula de oro, por el movimiento turbulento de la pulpa.
3. La característica de concentrar la amalgama y el mercurio en el fondo del quimbaleta, una vez parado el movimiento de la piedra.

Requisitos fundamentales de operación del quimbaleta sean la mantención descontaminada de las partículas metálicas y del mercurio para un buen atrapamiento así como que las partículas metálicas sean solubles en mercurio y relativamente insolubles en agua, de tal

forma que sean mojadas preferentemente por el mercurio sin la formación de un ángulo de contacto estable. Un factor importante en la amalgamación constituye la calidad del agua así como de los minerales acompañantes de la mena. Como problemático en general en la amalgamación se muestran:

- Contaminación del agua con grasa y aceite
- Compuestos de arsénico, antimonio y bismuto, en particular los sulfuros de estos metales
- Azufre, grafito y carbón amorfo
- pH demasiado ácido de la pulpa
- En menor escala los sulfuros de fierro y cobre (en importancia decreciente Pirotita, Marcasita, Chalcopirita y Pirita)
- Oro de una granulometría muy fina o ocluido en otros minerales

Una vez manejado bien las condiciones operativas de amalgamación la utilización del quimbaleta es ventajoso para los mineros artesanales por las siguientes razones (2):

- Procesamiento de inmediato y cerca de las labores mineras, acelerando la rotación del dinero y ahorrando en transporte.
- Posibilidad de trabajar pequeñas cantidades de mineral, en particular de minerales de alta ley, no siendo necesario acumular mineral como es solicitado por los “traders”.
- Posibilidad de trabajar una gran variedad de leyes sin ningún problema.
- Para obtener un kilogramo de oro por el método del quimbaleta se emplea 18 m<sup>3</sup> de agua, mientras que para obtener un kilogramo por el método convencional se emplea 300 m<sup>3</sup>. Este ahorro de agua permite que se desarrolle la agricultura, donde sea posible, en forma paralela; ya que se está reduciendo en gran medida el consumo de agua que podría afectar a las labores agrícolas.
- Al igual que permite un considerable ahorro de agua, también ahorra petróleo, pues para producir un kilogramo de oro se necesita 310 galones de petróleo, mientras que por el método convencional se necesita 2370 galones.
- Generación de empleo para mujeres y hombres con nivel educativo bajo.
- Cadena de producción estable.

En el otro lado la operación de los quimbaletes crea también problemas características o tiene desventajas considerables, como son:

- Contaminación del medio ambiente por las pérdidas de mercurio en particular en zonas residenciales o zonas agrícolas.
- Baja productividad (como máximo 300 Kg de material de baja ley por día) y con eso también estorbamiento del trabajo continuo en la mina.
- Pérdidas desconocidas del oro fino en las colas del proceso.

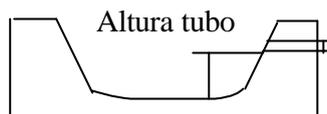
## **5. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS PRÁCTICOS PARA EL MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE QUIMBALETEO**

### **5.1 Condiciones constructivas del quimbaleta y parámetros de la operación**

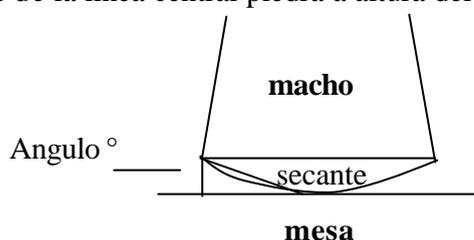
Como ya explicado en el párrafo de la metodología se trabajó efectuando ensayos paralelos comparando los resultados de las modificaciones con el resultado de una operación bajo condiciones operativas normales. En los seis quimbaletes en que se efectuaron ensayos las

condiciones estándares de trabajo eran (ver **Anexo 2**: Datos técnicos de los quimbaletes usados en los ensayos):

- Carga de material: 18,5 a 24 Kg cada 25 a 30 minutos
- Densidad de la pulpa durante la amalgamación: de 40 a 50% de sólido
- Peso de 1 litro de pulpa: de 1.346 Kg a 1.474 Kg
- Ángulo de la taza del quimbalete con el horizontal: 35° a 40°
- Altura del tubo de la descarga: 10 a 21 cm sobre nivel de la mesa



- Curvatura de la piedra en la superficie de la molienda aproximada por el ángulo de la secante de la línea central piedra a altura del borde con la superficie de la mesa: 12,8° y 18,5°



- Estado de desgaste de los quimbaletes usados: recién picado (12,8°) hasta necesidad eminente de picar (18,5°)
- Frecuencia del vaivén: de 40 a 60 movimientos por minuto
- Dimensiones de la mesa del quimbalete: 48 – 54 cm de ancho y 90 a 114 cm de largo, forma ovalada
- Dimensiones del macho: sección 46 a 56 ancho y 66 a 76 cm de alto (forma de barril), 83 a 115 cm de largo.
- Peso aprox. del macho: 600 a 930 Kg
- Agua utilizada para el deslame: de 250 a 300 ltr.
- Duración del deslame: de 4 a 7 minutos

Estas condiciones de trabajo y dimensiones de los quimbaletes son típicas para la zona Sur-Medio y por lo tanto se puede concluir que los resultados de los ensayos, utilizando el mismo tipo de material, son representativos y reproducibles en otros quimbaletes de la misma zona.

## 5.2 Tipos de minerales y de relaves investigados

En los ensayos se trató de probar varios tipos de minerales y relaves que son típicos para la zona Sur-Medio. Por esta razón se procesó minerales auríferos con poco contenido de minerales sulfurosos así como también menas con minerales de hierro oxidado y cuarzo. En el lapso de tiempo en que se efectuó el estudio no fue posible conseguirse una mena aurífera con un alto contenido de minerales sulfurosos que conocidamente causa problemas en la amalgamación (baja recuperación) y altas pérdidas de mercurio (hasta 2 Kg de mercurio perdido por tonelada de mineral procesado).

Además se llevaron a cabo ensayos con las colas de los procesos de la amalgamación en el quimbalete.

### **5.2.1 Mineral sulfuroso de baja ley**

En la primera campaña de ensayos se experimentó con un mineral aurífero de la Veta Casco Verde ubicada en el Cerro Arenal que fue aprovisionado por el Sr. Javier Ochoa en 4 diferentes lotes que tenían insignificantes diferencias en las leyes de oro y en la composición de la ganga. En general se trata de un material de relativamente baja ley con una ganga de cuarzo ahumado compacto. La ley de cabeza de este mineral fue dos veces analizada; en el laboratorio de la Fundición Hernán Videl Lira de la Empresa Nacional de Minería en Chile y en el laboratorio del Instituto de Metalurgia de la Universidad Técnica de Aquisgran en Alemania. Según el análisis en el laboratorio de ENAMI la ley de cabeza de este material pasante de malla # 220 fue 10,8 g Au/t (**Anexo 4**: Resultados análisis químico del mineral polvorizado). El análisis en el laboratorio de la Universidad de Aquisgrán arrojó leyes de 9,13 y 11,44 g Au/g (ver **Anexo 4b**). Además se mostró que la proporción de finos en el mineral analizado de una granulometría menos de 20 $\mu$ m es muy alto (entre 29 y 57%). El fino menos de 20 $\mu$ m contiene a su vez entre 32 y 59% del oro total contenido en la muestras. El oro se encuentra en el estado nativo con una granulometría típica menos de 100 micrones, y puede ser designado como oro fino hasta muy fino. Además contiene la matriz de cuarzo en cantidades pequeñas piritita y piritita aurífera así como también en cantidades insignificantes galena. Este material fue suministrado por el minero artesanal en forma polvorizada y debería contener, según su estimación, una media onza de oro amagamable por tonelada tratada. La recuperación de oro amalgamado de este material varió entre 6 y 12 gramos por tonelada procesada en el quimbalete, que es de aprox. 57 a 114% del valor promedio que fue analizado para el material.

### **5.2.2 Mineral sulfuroso de alta ley**

En segundo lugar se investigó una mena que contuvo un alto porcentaje de piritita aurífera en una matriz de cuarzo ahumado. Además se encontraron en cantidades menores los minerales calcopiritita y galena en la mena. Este mineral de prueba provino de la mina Virgen de Chape ubicada en el sector del Cerro Arenal. El oro nativo liberado existe en una granulometría de 200 a 10 micrones. El dueño del mineral, Sr. Castañeda, afirmó que el mineral vendido a la planta Dynacor arrojaría una ley de una onza por tonelada. Normalmente no se trata este mineral en una planta de trapiche porque la amalgamación del mineral consigue ingresos inferiores a los obtenidos por la venta directa del mineral. La recuperación de oro amalgamado de este material en promedio fue aprox. 20 g Au/t, que es 62% del valor que fue habitualmente analizado para este tipo de mineral en la planta Dynacor. El valor monetario de 1 tonelada de este mineral vendido a la planta Dynacor es 238,5 \$ US (cotización de oro 315 \$/oz). El valor de la tonelada de mena en venta directa, comparado con el valor de la venta del amalgama producida, que es de solo 167 \$ US bruto (deducibles aprox. 30\$ como costos de la amalgamación), explica porque la venta directa del mineral a la Planta Dynacor es más atractiva para el minero que la amalgamación en quimbalete.

### **5.2.3 Mineral de fierro oxidado de alta ley**

En tercer lugar se investigó una mena que contuvo un alto porcentaje de mineral de fierro oxidado de color rojizo-café encerrado por cuarzo compacto. Este mineral de prueba proviene de la mina Españolita ubicada en el sector de la veta Casco Verde del Cerro Arenal. En cantidades menores también se encontró pirita fina en la mena. El oro nativo liberado existe en una granulometría de 200 a 10 micrones. El dueño del mineral, Sr. Severio Barrantes, afirmó que recuperaría de su mineral aproximadamente 1 gr. de oro por lata que corresponde a 30 grs. de oro por tonelada procesada en el quimbaleta. El análisis químico del mineral pasante de malla # 220 arrojó una ley de cabeza de 31,40 grs. por tonelada (ver **Anexo 4: Resultado análisis químico**). La recuperación de oro amalgamado de este material varió entre 34,3 y 45,2 gramos por tonelada procesada en el quimbaleta, que es de 109 a 144 % del valor que fue analizado para el material.

A parte de este mineral que fue procesado después de la pulverización en el molino a bolas, Sr. Barrantes trabajó también 2 latas de mineral bruto de alta ley en el quimbaleta. La recuperación de oro amalgamado de este mineral bruto fue 866,7 gramos de oro por tonelada de mineral procesada en quimbaleta.

### **5.2.4 Mineral de fierro oxidado de baja ley**

Para los ensayos de un mineral de fierro oxidado de baja ley se consiguió un lote de este mineral del Sr. Luis Montes que opera una mina en la veta Casco Verde en el Cerro Arenal. Este lote fue meticulosamente homogenizado para garantizar resultados comparables de los ensayos. Los ensayos con este mineral se efectuaron en una segunda planta de quimbaletes con cuyo dueño el minero tenía un convenio de abastecimiento. La ley de cabeza para el abastecimiento de los quimbaletes fue 25,50 grs. de oro para mineral tamizado con una malla # 220. La recuperación de oro amalgamado de este material varió entre 11,1 y 12,0 grs. por tonelada procesada en quimbaleta (ver **Anexo 4: Resultado análisis químico**), que es solamente de 43 a 47% del valor que fue analizado para el material. Esto hecho significa que el minero procesando su mineral en la planta tradicional de quimbaleta recupera probablemente menos que la mitad del oro contenido en el mineral y que para él sería más favorable vender directamente la mena a la planta de lixiviación.

### **5.2.5 Relaves**

Los relaves que se sometieron a un proceso de concentración por canaleta provinieron de un pozo de sedimentación con colas que provinieron de la amalgamación de diferentes tipos de minerales. Es decir los relaves contenían principalmente una mezcla de cuarzo, minerales sulfurosos, minerales de fierro oxidado, harina de mercurio y oro fino. Utilizando los datos de las pérdidas de mercurio en el proceso tradicional levantados durante los ensayos para una aproximación de la concentración del mercurio en los relaves se puede estimar que una tonelada de relaves contenga aproximadamente 300 a 450 grs. de mercurio en la piscina investigada.

## **5.3 Resultados generales de los ensayos**

### **5.3.1 Pérdidas de mercurio**

Las pérdidas de mercurio en el proceso tradicional de amalgamación en quimbaleta en el pasado fueron en general sobreestimadas en la zona de Huanca. Los resultados de 10

ensayos representativos que sirvieron para la referencia de los ensayos en que se efectuaron las modificaciones del proceso (ver tabla de los ensayos anexada: *numeros de los ensayos N° 1, N° 2, N° 3, N° 4, N° 7, N° 8, N° 17, N° 18, N° 24, y N° 25*) muestran que las pérdidas de mercurio en promedio son aproximadamente 100 grs.Hg/día y llegan como máximo a 200 grs. de Hg/día.

En el informe Estudio de Evaluación Ambiental Territorial y Planteamientos para la Reducción o Minimización de la Contaminación de Origen Minero en las Cuencas del Grupo C: Costa Sur y Arequipa elaborado por la empresa Klohn Crippen – SVS S. A. En el año 1998 para el Ministerio de Energía y Minas se estima las pérdidas de Hg a 625 grs./día. Suponiendo en Huanca un número de 205 quimbaletes existentes ellos calcularon un consumo diario para la zona Huanca de 127 Kg/día. Suponiendo que el grado de utilización de la capacidad de los quimbaletes en Huanca actualmente va de 30 a 40 % el consumo de mercurio en la amalgamación se calcularía a 6,1 – 8,2 Kg/día que significa solamente 5 a 6 % del valor estimado en el año 1998.

### **5.3.2 La personalidad del quimbalete y su estado de desgaste**

Los ensayos se efectuaron en 6 quimbaletes ubicados en 2 plantas diferentes. Procesando el mismo material y bajo las mismas condiciones de operación la diferencia en la pérdida de mercurio de los quimbaletes puede variar hasta 184 % (ver tabla de los ensayos en el **Anexo 3**: *ensayo N° 1, quimbalete 1 arroja pérdidas 347 grs. Hg/t; ensayo N° 4, quimbalete 2 arroja pérdidas 122 grs. Hg/t*). Esta alta variación se explica por una parte por el distinto grado de desgaste de los quimbaletes, por el manejo distinto del deslame, y por las variaciones de la geometría de los quimbaletes.

Por el otro lado también los resultados en el mismo quimbalete pueden tener una alta desviación significando que el valor mínimo arrojado de la pérdida de mercurio puede ser sobrepasado en 27 % a 46 % bajo aparentemente las mismas condiciones de trabajo (ver tabla de los ensayos en el **Anexo 3**: *ensayo N° 1, quimbalete 1 arroja pérdidas 347 grs. Hg/t; ensayo N° 2, quimbalete 1 arroja 230 grs. Hg/t y ensayo N° 12, quimbalete 2 arroja pérdida 331 grs. Hg/t; ensayo N° 13, quimbalete 2 arroja pérdida 484 grs. Hg/t*). Por lo tanto solamente los resultados en que hubo más de 50 % desviación comparando los resultados de los ensayos en que había modificaciones del proceso con los del proceso tradicional pueden ser interpretados como efecto significativo de la modificación sobre la pérdida de mercurio. Al respecto de desviaciones menores de los resultados de los ensayos se puede hablar de tendencias posibles.

Entre diferentes quimbaletes procesando el mismo material, la recuperación de la amalgama puede variar hasta en 86% (ver tabla de los ensayos en el **Anexo 3**: *ensayo N° 1, quimbalete 1 arroja 19,3 grs. Amalgama/t; ensayo N° 2, quimbalete 2 arroja 35,9 grs. Amalgama/t*). Sin embargo, en la mayoría de los ensayos la diferencia entre las recuperaciones de distintos quimbaletes con el mismo material es menos de 10% referida al valor de la recuperación menor obtenida.

Existe una tendencia que el quimbalete que fue reacondicionado hace poco recupera peor el oro que el quimbalete que muestra índices de desgaste de la piedra y mesa. Por el otro lado el quimbalete recién picado produce menos harina de mercurio que un quimbalete que está

golpeando en la operación por el desgaste del volador y de la mesa. La diferencia puede ser tan notable que el quimbaleta recién picado produce hasta 42 % menos de pérdida de mercurio, sin embargo la recuperación de amalgama también baja en este caso 18 % (ver tabla de los ensayos en el **Anexo 3**: *ensayo N° 17, quimbaleta 2 arroja pérdida 347 grs. Hg/t y recuperación 27 grs. Amalgama/t; ensayo N° 18, quimbaleta 4 arroja pérdida 170 grs. Hg/t y recuperación 22 grs. Amalgama/t*).

En el otro lado un quimbaleta recién construido causa también más pérdidas de mercurio que un quimbaleta usado que ya alcanzó una cierta profundidad de la mesa por los picados realizados periódicamente (ver tabla de los ensayos en el **Anexo 3**: *ensayo N° 1, quimbaleta 1 con tubo 10 cm sobre nivel de la mesa arroja 347 grs. Mercurio/t; ensayo N° 2, quimbaleta 2 con tubo 20 cm sobre nivel de la mesa arroja 273 grs. Mercurio/t*). En este caso las pérdidas de mercurio consisten principalmente de perlas de mercurio de mayor diámetro y en menor escala de harina de mercurio.

En general los ensayos muestran claramente que las pérdidas de mercurio no son siempre acompañadas con una baja de la recuperación de oro correspondiente. En el contrario se muestra en los ensayos la tendencia que en el caso de las altas pérdidas de Hg en forma de harina de mercurio la recuperación de oro está levemente mejorada.

Estos hallazgos se pueden relacionar con los hechos que los quimbaletes trabajan gastando la piedra en la superficie de la mesa de tal manera que el quimbaleta se hunde con el tiempo de su uso. En quimbaletes usados ya mucho tiempo el tubo de salida puede encontrarse hasta 15 cm más alto instalado en la taza del quimbaleta en comparación con la salida de un quimbaleta nuevo. Por lo tanto existe una mayor facilidad de las perlas de mercurio de salir del quimbaleta por el tubo empotrado en la pared de la taza durante el deslame. Además, la piedra macho del quimbaleta nuevo es en su lado inferior, que entra en contacto con la mesa, es mucho más redondeada que resulta en una mezcla deficiente del material sedimentado en las orillas de la mesa del quimbaleta y con eso en una tasa de amalgamación inferior comparada con un quimbaleta ya usado mucho tiempo.

### **5.3.3 Tipo de mineral**

Los resultados de los ensayos muestran que el tipo de mineral estudiado (cuarzo con poca cantidad de pirita y de baja ley, así como cuarzo con minerales de hierro oxidado de baja ley o de leyes regulares) no es significativo para influir en las pérdidas de mercurio.

La recuperación de amalgama, por supuesto, es claramente ligada al tipo de mineral y en particular a la ley del mineral tratado. La desviación de la recuperación en el mismo quimbaleta procesando el mismo tipo de material puede variar en 35% (ver tabla de los ensayos en el **Anexo 3**: *ensayo N° 2 arroja recuperación 35,9 grs. Amalgama/t; ensayo N° 4 arroja recuperación 26,5 grs. Amalgama/t*).

### **5.3.4 Granulometría de la alimentación del quimbaleta**

La comparación de una amalgamación con mineral bruto de alta ley con la del mineral previamente molido de baja ley muestra claramente que las pérdidas de mercurio relacionado con la cantidad de mineral procesado son 3 a 4 veces mayores en el caso de amalgamar mineral bruto. Sin embargo, la pérdida diaria de mercurio es en el caso de la

amalgamación del mineral bruto 4 veces menor en comparación con la amalgamación del mismo material polvorizado de baja ley. Este resultado tiene que ver con la frecuencia del deslame que en el caso de tratamiento de mineral bruto es también aproximadamente 4 veces menor.

La recuperación de la amalgama para el quimbaletado de mineral bruto de alta ley fue en el caso investigado 6,5 veces mayor que para el caso de mineral polvorizado de ley regular. (ver tabla de los ensayos en el **Anexo 3: ensayo N° 17 quimbalete 2 arroja recuperación 135,7 grs. Amalgama/t y perdida 452 grs. Hg/t; ensayo N° 21 quimbalete 2 arroja 866,7 grs. Amalgama/t y perdida 1766 grs. Hg/t**).

### **5.3.5 La vehemencia del deslame**

La vehemencia del deslame es un parámetro importante en las causas que resultan en la pérdida de mercurio en el proceso de quimbaletado. En el deslame del quimbalete se remueve las partículas finas o lamas producidas durante la amalgamación y refinación en el proceso lavándolas con un continuo flujo agua hacia fuera del quimbalete. Las partículas están arrastradas por el flujo horizontal que sale por el tubo empotrado del trapiche. Las turbulencias causadas por el vaivén continuo del volante así como por verter agua de un balde al quimbalete previenen que las partículas más livianas pueden asentarse. El quimbaletero apoya al descarte de los finos por vehementes movimientos de la piedra empujando el agua fuera del quimbalete. En todo este escenario del deslame también son arrojadas partículas finas de oro, perlititas de mercurio y harina de mercurio.

Por no tener un criterio medible de la turbulencia generada en el quimbalete, se utiliza una observación subjetiva de los investigadores para describir la vehemencia del deslame. Como deslame normal se denomina una evacuación de los finos que dura 4 a 5 minutos, en que se echa agua al quimbalete de la altura de la cadera y el quimbaletero trata de impulsar el agua del deslame fuera del quimbalete saliendo en chorros.

En otro lado un deslame suave se denomina un descarte de las lamas que dura 6 a 7 minutos, en que el agua del lavado del quimbalete se vierte del borde de la tasa del quimbalete, y en que el quimbaletero no trata de impulsar el agua hacia fuera del quimbalete por el apoyo del macho. Los ensayos muestran que se puede reducir las pérdidas de Hg por un deslame cuidadoso en hasta 73%. (ver tabla de los ensayos en el **Anexo 3: ensayo N° 13 quimbalete 2 arroja perdida 484 grs. Hg/t; ensayo N° 14 quimbalete 2 arroja perdida 131 grs. Hg/t**). Los resultados de la recuperación de la amalgama no comprueban una relación entre la vehemencia del deslame y la recuperación de la amalgama.

### **5.3.6 Relación entre oro recuperado por el refogado y amalgama producida**

Se logró establecer una relación entre el oro recuperado por el refogado y la amalgama producida en el proceso. En primera aproximación se puede modelar esta relación por dos rectas con un gradientes desiguales. Las rectas junto con los pares de datos están ploteadas en el **Anexo 5: Relación de Oro en Amalgama con el peso de la pella**. Se encontró en el estudio de la relación del oro y de la amalgama que pellas de amalgama hasta 6 grs. contienen aprox. 40% de oro,- por lo menos en el rango de muestras estudiadas – y que pellas con un peso arriba de 6 grs. causa una reducción del contenido de oro en la pella a

aprox. 30 % del peso total de la pella. La explicación puede ser que ahorcando una pella pequeña se puede ejercer más presión y con eso también expresar más mercurio de la pella.

## 5.4 Modificaciones del proceso tradicional y observaciones al proceso

### 5.4.1 Utilización de reactivos en el proceso

Normalmente no se trabaja en el quimbaletaje con reactivos. Por una parte porque se desconoce los efectos de los reactivos y por otra parte por el precio relativamente alto y las dificultades logísticas de conseguirse reactivos más sofisticados. La única excepción es la utilización infrecuente de cal y carburo cuando se trabaja material con alto contenido de sulfuros. Para limpiar el mercurio antes de agregarlo al quimbalete algunos mineros utilizan el detergente “Ace”, que además se usa para limpiar la amalgama producida con el objetivo de conseguir en la quema oro de mejor apariencia. No obstante, en la literatura técnica sobre la amalgamación así como en la experiencia colectiva de la minería artesanal en otros países figura una amplia lista de reactivos que pueden mejorar el rendimiento de la amalgamación y ayudar en reducir las pérdidas de mercurio.

En la literatura investigada se encontró las siguientes indicaciones para el uso de reactivos en la amalgamación. El uso de muchos reactivos tiene su origen en ensayos de trial and error.

- Hidróxido de sodio (soda cáustica). Además de ser usada como agente neutralizante, elimina las grasas que existen en la pulpa. Los dueños de los quimbaletes en parte rechazan su uso por el posible aumento del desgaste del quimbalete.
- Nitrato de potasio (salitre de potasio). Limpia las superficies mohosas del oro.
- Plumbado de sodio. Evita la alteración del mercurio logrando su estabilidad.
- Dicromato de potasio. Se adiciona con la cal para limpiar la superficie del oro manchadas con óxidos de hierro hidratado (limonitas).
- Cianuro de sodio. Para neutralizar las sales producidas por la descomposición de los sulfuros y limpiar las superficies del oro y del mercurio
- Cal viva. Para neutralizar la acidez en el medio acuoso. El mercurio en medio ácido (menos de 7) se oxida fácilmente, perdiendo sus propiedades amalgamatorias, además es coadyuvante con otros reactivos.
- Amalgama de sodio. Para activar el mercurio y mejorar la coalescencia del mismo.
- Litargirio (Óxido de plomo): Previene la generación del ión sulfuroso en la pulpa porque el ión de plomo tiende a precipitarse en cualquiera superficie sólida donde estaba el ión sulfuroso disponible de tal manera que está superficie esta cubierta por el ión de plomo, reduciendo la emisión de otros iones sulfurosos.
- Azúcar chancaca: Limpieza del mercurio y del oro mohoso, además es coadyuvante con otros reactivos (probado en Ecuador)
- Jugo de sisal y de otras plantas: Limpieza del mercurio y del oro mohoso, coadyuvante de la aglomeración y sedimentación de sólidos en suspensión.
- Detergente (p. e. Ace): Limpieza del mercurio y del oro mohoso, mejora de la apariencia del oro.
- Sal de la mesa: Limpieza del mercurio y del oro mohoso, coadyuvante. Utilizado ya en la época de los españoles como coadyuvante en la amalgamación.
- Carburo: Probablemente efecto como la cal

En el ensayo práctico se investigó los efectos de:

- Soda cáustica
- Salitre de potasio
- Azúcar chancaca
- Amalgama de sodio
- Sal de la mesa
- Cal viva
- Jugo de la tuna (una planta suculenta de origen local en Huanca)

al respecto de las pérdidas de mercurio en el proceso así como sobre la recuperación de la amalgama. En la selección de estos reactivos se consideró la disponibilidad en Huanca, las gestiones logísticas de conseguirse el reactivo, sus efectos ambientales (toxicidad) y el precio. Los ensayos se efectuaron con el mismo tipo de material en el mismo quimbaleta para asegurar la comparatividad de los ensayos. Las condiciones de la pulpa con que se trabajaron siempre estaban altamente alcalinas.

#### **5.4.1.1 Los efectos de la soda cáustica**

Soda cáustica se aplicó a un mineral levemente sulfuroso en una relación de 2083 grs./t de mineral. La mezcla del mineral con la sosa se efectuó dentro del quimbaleta. La concentración de soda en la solución fue aproximadamente 0,25%. El mineral bruto no mostró contaminaciones con grasa o aceite. En estas condiciones se procesaron 240 Kg de mineral.

En comparación con los ensayos de referencia del mismo mineral en distintos quimbaletes (ver tabla de los ensayos en el **Anexo 3: ensayo N° 6 utilizando soda cáustica quimbaleta 2 arroja recuperación 22,9 grs. Amalgama/t y perdida 231 grs. Hg/t; ensayo N° 5 sin reactivo quimbaleta 1 arroja recuperación grs. 22,1 grs. Amalgama/t y perdida 94 grs. Hg/t; ensayo N° 7 sin reactivo quimbaleta 3 arroja recuperación 18,9 grs. Amalgama/t y perdida 150 grs. Hg/t)** los resultados del ensayo con soda cáustica no muestran efectos significantes sobre la recuperación de la amalgama y las pérdidas de mercurio en el proceso. La insignificante mejora en la recuperación de amalgama en el quimbaleta donde se aplicó la soda se merece probablemente el quimbaleta que tendencialmente recupera mejor que los otros quimbaletes.

#### **5.4.1.2 Los efectos del salitre de potasio**

Salitre de potasio se aplicó a un mineral levemente sulfuroso en una relación de 2083 grs./t de mineral. La mezcla del mineral con la sosa se efectuó dentro del quimbaleta. La concentración de salitre en la solución fue aproximadamente 0,25%. El mineral bruto no mostró contaminaciones con grasa o aceite. En estas condiciones se procesaron 240 Kg de mineral.

En comparación con los ensayos de referencia del mismo mineral en distintos quimbaletes (ver tabla de los ensayos en el **Anexo 3: ensayo N° 9 utilizando salitre de potasio quimbaleta 2 arroja recuperación 24,2 grs. Amalgama/t y perdida 209 grs. Hg/t; ensayo N° 8 sin reactivo quimbaleta 1 arroja recuperación grs. 18,3 grs. Amalgama/t y perdida 75 grs. Hg; ensayo N° 10 sin reactivo quimbaleta 3 arroja recuperación 19,6 grs. Amalgama/t**

y pérdida 70 grs. Hg/t) los resultados del ensayo con salitre no muestran efectos significantes sobre la recuperación de la amalgama y las pérdidas de mercurio en el proceso. La mejora en la recuperación de amalgama en el quimbaleta donde se aplicó el salitre puede indicar una tendencia. Las diferencias en las pérdidas de mercurio entre estos tres ensayos son ocasionadas por diferencias en el manejo del deslame en los tres quimbaletes – el quimbaleta del ensayo N° 8 fue deslamado en una manera suave, dentro del quimbaleta del ensayo N° 10 se utilizó una trampa de mercurio -.

#### **5.4.1.3 Los efectos de la cal viva**

Cal viva se aplicó a un mineral oxidado de una ley regular en una relación de 4000 grs./t de mineral. La mezcla del mineral con la cal viva se efectuó dentro del quimbaleta. La concentración de cal en la solución fue aproximadamente 0,1875 %. El mineral bruto no mostró contaminaciones con grasa o aceite. En estas condiciones se procesaron 320 Kg de mineral.

En comparación con el ensayo de referencia realizado con el mismo mineral en el mismo quimbaletes (ver tabla de los ensayos en el **Anexo 3**: ensayo N° 19 utilizando cal viva quimbaleta 2 arroja recuperación 111,6 grs. Amalgama/t y pérdida 651 grs. Hg/t; ensayo N° 17 quimbaleta 2 arroja recuperación grs. 135,7 grs. Amalgama/t y pérdida 452 grs. Hg/t;) los resultados del ensayo con cal viva no muestran efectos significantes sobre la recuperación de la amalgama. Sin embargo, se muestra en la comparación con el ensayo no modificado una tendencia de una disminución de la recuperación de amalgama en el quimbaleta donde se aplicó cal viva. Las pérdidas de mercurio aumentaron en la manera de un salto en el ensayo con cal viva, que es sorprendente y difícil de explicar. Eventualmente se puede suponer que una alcalinidad demasiado alto de la solución resultó en la inestabilidad del mercurio, causando un aumento de las pérdidas de mercurio.

#### **5.4.1.4 Los efectos del azúcar chancaca**

Azúcar chancaca se aplicó a un mineral de óxido ferroso en una relación de 2667 grs./t de mineral procesado. La mezcla del mineral con el azúcar se efectuó dentro del quimbaleta. La concentración del azúcar chancaca en la solución fue aproximadamente 0,125 %. El mineral bruto no mostró contaminaciones con grasa o aceite. En estas condiciones se procesaron 300 Kg de mineral.

En comparación con el ensayo de referencia del mismo mineral en el mismo quimbaleta (ver tabla de los ensayos en el **Anexo 3**: *ensayo N° 20 utilizando azúcar chancaca quimbaleta 4 arroja recuperación 103,0 grs. Amalgama/t y pérdida 148 grs. Hg/t; ensayo N° 18 sin reactivo quimbaleta 4 arroja recuperación 111 grs. Amalgama/t y pérdida 170 grs. Hg/t)* los resultados del ensayo con azúcar chancaca no muestran efectos significantes sobre la recuperación de la amalgama ni las pérdidas de mercurio en el proceso.

#### **5.4.1.5 Los efectos de la sal de la mesa**

Sal de la mesa se aplicó a un mineral de óxido ferroso en una relación de 5405 grs./t de mineral procesado. La mezcla del mineral con la sal se efectuó dentro del quimbaleta. La concentración de la sal en la solución fue aproximadamente 0,25 %. El mineral bruto no mostró contaminaciones con grasa o aceite. En estas condiciones se procesaron 111 Kg de mineral.

En comparación con el ensayo de referencia del mismo mineral en el mismo quimbaleta (ver tabla de los ensayos en el **Anexo 3: ensayo N° 27 utilizando sal de mesa quimbaleta 5 arroja recuperación 36 grs. Amalgama/t y perdida 679 grs. Hg/t; ensayo N° 25 sin reactivo quimbaleta 5 arroja recuperación 33,3 grs. Amalgama/t y perdida 248 grs. Hg**) los resultados del ensayo con sal de la mesa no muestran efectos significantes sobre la recuperación de la amalgama. Sin embargo, las pérdidas de mercurio en el proceso con sal de la mesa aumentaron en 174% que con alta probabilidad está causado por la utilización de la sal.

#### **5.4.1.6 Los efectos del jugo de la tuna y del sodio de amalgama sobre el reprocesamiento de relaves**

En el reprocesamiento de relaves utilizando el quimbaleta para repulpar los relaves, una canaleta de concentración para producir un concentrado y la amalgamación del concentrado junto con el material sedimentado del quimbaleta se probó el efecto de amalgama de sodio electrolíticamente producido así como también del jugo de la tuna que es un acelerador de la sedimentación.

El jugo de la tuna se aplicó continuamente en el quimbaleta durante la operación de repulpar los relaves. La amalgama de sodio se aplicó solamente en la fase de la amalgamación. Más detalles de los ensayos con relaves se encuentra en un párrafo más adelante.

En comparación con el ensayo de referencia procesando relaves de la misma piscina en el mismo quimbaleta (ver tabla de los ensayos en el **Anexo 3: N° 16, utilizando amalgama de sodio en la amalgamación y jugo de la tuna en el repulpeo, quimbaleta 4 arroja recuperación 35,5 grs. Amalgama/t y recuperación 84 grs. Hg/t; ensayo N° 22, sin reactivos en el quimbaleta 4 arroja recuperación 15 grs. Amalgama/t y recuperación 122 grs. Hg/t**) los resultados del ensayo con jugo de la tuna y con el mercurio electrolíticamente activado muestra una disminución en 58 % en la recuperación de la amalgama, sin embargo, un aumento de 45 % en la recuperación de mercurio comparado con en el ensayo sin reactivos.

Estos resultados dejan concluir que las leyes de oro en la piscina de relave no están homogéneamente repartido y de hecho el material de relave para el ensayo N° 16 provino del lado de la piscina de sedimentación donde se encuentran los desagües de los quimbaletes, mientras que el material de relave para los ensayos N° 22 y N° 23 provino del lado opuesto de la piscina. Se presume que dentro de la piscina tenía lugar una concentración natural de oro cerca de los desagües de los quimbaletes.

#### **5.4.2 Deslame con trampa interna (cuello en el tubo de salida)**

Observando el proceso del quimbaleteo, se dio cuenta que la manera en que se efectúa el deslame tiene una gran importancia sobre las pérdidas de las partículas mayores de mercurio hasta 1 mm de diámetro, también denominadas perlas de mercurio. En una hipótesis referente a las pérdidas de las perlas se estableció la presunción que las perlas de mercurio durante el deslame en realidad no se encuentran en el estado de suspensión, sin embargo rodean sobre el fondo y la pared inclinada de la taza arriba hasta el tubo de

desagüe del quimbalete impulsado por el vaivén del macho. En este caso, se puede suponer que un cuello, puesto en el tubo durante es deslame, que sobresale en la taza, podría impedir, que las perlas de mercurio pueden entrar en el tubo y pueden ser arrastradas fuera del quimbalete por la evacuación de la pulpa.

Los resultados de los ensayos, donde se aplicó un cuello, mostraron en la mayoría de los casos una disminución considerable de las pérdidas de mercurio en el proceso hasta 53 % (ver tabla de los ensayos en el **Anexo 3: ensayo N° 7 quimbalete 3 sin cuello arroja perdida de 150 grs. Hg/t; ensayo N° 10 quimbalete 3 con cuello arroja perdida de 70 grs. Hg/t**). En combinación con un deslame suave, las pérdidas de mercurio pueden reducirse hasta 73 % (ver tabla anexada de los ensayos: *ensayo N° 1 quimbalete 1 arroja perdida de 347 grs. Hg/t; ensayo N° 5 quimbalete 1 con cuello y deslame suave arroja perdida de 94 grs. Hg/t*). Sin embargo, un deslame muy vehemente puede hacer la trampa inoperante produciendo una turbulencia demasiado alta, en que hasta partículas mayores de mercurio quedan en suspensión (ver tabla de los ensayos en el **Anexo 3: ensayo N° 13 quimbalete 2 con cuello deslame vehemente arroja perdida de 484 grs. Hg/t y ensayo N° 14 quimbalete 2 con cuello y deslame suave arroja perdida de 131 grs. Hg/t**).

#### **5.4.3 Deslame suave**

El deslame “suave” del quimbalete, en comparación con un deslame “normal”, siempre produce una disminución de las pérdidas de mercurio. Los resultados del ensayo, en que se dedicó una investigación particular al deslame del quimbalete, mostraron claramente que una reducción de las pérdidas de mercurio hasta 73 % (ver tabla de los ensayos en el **Anexo 3: ensayo N° 13 quimbalete 2 con cuello deslame vehemente arroja perdida de 484 grs. Hg/t y ensayo N° 14 quimbalete 2 con cuello y deslame suave arroja perdida de 131 grs. Hg/t**) es posible, solamente por aplicación de un deslame suave, vertiendo el agua para el deslame del borde de la tasa del quimbalete y no de la altura de la cadera, y no evacuando la pulpa por el empuje del macho.

De hecho, no existe ninguna necesidad de trabajar con un deslame vehemente para evacuar las lamas del quimbalete por que las lamas se quedan en general fácilmente en suspensión. Por el deslame vehemente solamente se logra, que partículas mayores, que todavía no son suficientemente refinadas, así como partículas pequeñas de mayor densidad como oro y mercurio llegan a ser suspendidas en la pulpa y son evacuadas con el desagüe del quimbalete.

#### **5.5 El repaso de relaves de la piscina de sedimentación utilizando una canaleta de concentración**

Con el objetivo de estudiar la factibilidad de la canaleta de operar como una trampa para harina de mercurio se repasó en 3 ensayos relaves del quimbaleteo que provinieron de la piscina de sedimentación. La harina de mercurio se encuentra en los relaves en forma libre y abundante, sobre todo en la fracción fina, que se acumula en las esquinas opuestas al lado donde entran los desagües de los quimbaletes en la piscina de sedimentación. Esta harina es fácilmente separable de las arenas y lamas en una batea o en un platón. Los fotos 5 y 6 muestran las operaciones de repulpear los relaves en el quimbalete y concentrar la pulpa en la canaleta de concentración.



**Foto 5: Trabajo de la canaleta con relaves**



**Foto 6: Agregando relaves y agua**

Los resultados de estos ensayos mostraron, que se puede recuperar hasta 122 grs. de mercurio por tonelada de relaves reprocessados. Asumiendo una concentración en promedio de 350 grs. a 450 grs. de mercurio en los relaves, se puede recuperar hasta 35 a 27 % del mercurio de una granulometría fina por medidas gravimétricas en una canaleta. Estas cifras sirven como referencia para evaluar el funcionamiento de las trampas de mercurio instalado en le desagüe del quimbaleta.

Un hallazgo importante fue la recuperación de amalgama en el repaso de los relaves. En los ensayos realizados (ver tabla de los ensayos en el **Anexo 3: ensayo N° 16, ensayo N° 22 y ensayo 23**) se recuperaron respectivamente 35.5, 15.0 y 13.2 grs. de Amalgama, que significa que se pierde en el proceso tradicional del quimbaleta una cantidad considerable de oro, que eventualmente sería recuperable por una canaleta de concentración o por un segundo proceso de concentración en la planta de quimbaleta.

En los ensayos con material de relave también se investigó la influencia de la tasa de producción sobre la recuperación de mercurio trabajando con flujos de material de 220 Kg/hora, 147 Kg/hora, 110 Kg/hora. Los resultados de las recuperaciones de mercurio (ensayo N° 23: recuperación 82 grs. de Hg en el caso de 220 Kg/hora, ensayo N° 16, recuperación 84 grs. de Hg en el caso de 147 Kg/hora y ensayo N° 22 recuperación 122 grs. de Hg en el caso de 110 Kg/hora) muestran que un alto flujo de material reduce la recuperación de mercurio. En el caso de trabajar con 220 y 147 Kg/hora respectivamente la recuperación de mercurio fue 67 y 69% de la recuperación obtenida con un flujo de material de 110 Kg/ hora. Cabe decir que el flujo de material refleja también la densidad de la pulpa generada que varía entre 9% y 18% del peso sólido.

### **5.6 Trampas de mercurio instalado en el desagüe del quimbaleta**

En algunos casos aislados se ha visto entre la salida de pulpa del quimbaleta y la piscina de sedimentación construcciones de “mini-canalones”, supuestamente diseñados para recuperar harina de mercurio y sobre todo amalgama.

Asimismo, frecuentemente se puede observar la utilización de recipientes o bateas en la salida de pulpa del quimbaleta, que hacen la función de “trampa de mercurio” con la finalidad de recuperar amalgama y perlas de mercurio.

En el fondo del corto conducto (canal abierto) que generalmente conecta el quimbaleta con la piscina de sedimentación ( y que de todas formas actúa como canalón), a menudo se puede observar pequeñas bolitas de mercurio de hasta un milímetro de diámetro. Estos hechos dejan pensar que trampas de mercurio pueden trabajar eficientemente para recuperar por lo menos las perlitas de mercurio de mayor tamaño.

Las trampas de mercurio en general utilizan las diferencias de los pesos específicos de mercurio y amalgama de los minerales acompañantes para efectuar una concentración gravimétrica. Estas trampas pierden su eficiencia con la disminución del tamaño de las partículas pesadas. Una partícula redonda de oro de 20 micrones cae en un medio acuoso con la misma velocidad de caída que tiene una perlita de Hg de 24 micrones que corresponde a su vez a la velocidad de caída de un granito redondo de cuarzo con un diámetro de 67 micrones. Esto significa que es muy difícil recuperar la harina de mercurio, que tiene un rango de diámetros entre 10 y 30 micrones, con un factor alto de concentración, porque se va a recuperar también una gran cantidad de partículas de cuarzo de una mayor granulometría. En la práctica las trampas de mercurio tienden a embancarse con arenas.

En los ensayos se utilizó para recuperación del mercurio perdido canaletas de diferentes longitudes cubiertas con pañuelos y alfombras de distintos tipos. Aparte de aprovechar los principios de la concentración gravimétrica para la recuperación del mercurio, en el fondo de estas canaletas se producen micro turbulencias y efectos que también tienden a retener oro fino y mercurio. Las fotos 7 y 8 muestran dos canaletas que se utilizaron en los ensayos como trampa de mercurio.



**Foto 6: Canaleta metálica con alfombra (ens. N° 21) Foto 7: Canaleta rústica con toallas (ens. N° 1 y 3)**

Otra alternativa es el aprovechamiento de las características físico-químicas del mercurio para capturar las perlitas y la harina de mercurio que sale del quimbaleta con la pulpa en la etapa de deslame. Un equipo adecuado para este fin sería la placa amalgamadora (ver Foto 8), que es una lamina de cobre, cuya superficie está cubierta con una película fina de mercurio. Esta película estacionaria de mercurio entra en contacto con las partículas de oro y mercurio que contiene la pulpa.



**Foto 8: Canaleta con placa amalgamadora como trampa**

En los ensayos en Huanca se utilizó una placa amalgamadora que se usa normalmente en la amalgamación en los trapiches chilenos, instalada en un canalón de madera. La placa tuvo un espesor de 3 milímetros, 1 m de largo y 20 cm el ancho. Esta placa en los primeros ensayos no tenía una capa de amalgama de plata que reduzca la velocidad de la oxidación de la superficie de la placa y que con eso mejore la facultad de captar partículas finas de mercurio. En un segundo ensayo se investigó el efecto de cubrir la placa amalgamadora con una delgada capa de amalgama de plata, lo que le da la ventaja a la placa de que esta no se oxidó tan fácilmente y por eso quedó más tiempo disponible para captar mercurio. La carga de la placa fue aproximadamente 150 grs. de amalgama de plata por metro cuadrado.

En segundo plano se investigó si es posible con la placa amalgamadora recuperar el oro fino que no se amalgama dentro del quimbaleta. Una evaluación de la recuperación de la capacidad de recuperar mercurio perdido no se efectuó por las dificultades de determinar exactamente la retención del mercurio perdido en la placa.

### **5.6.1 Evaluación de los distintos tipos de trampas de mercurio**

#### **5.6.1.1 La tina en la salida del quimbaleta**

Con una tina instalada en la salida del quimbaleta se lograron recuperaciones del mercurio perdido que van típicamente de 2 % a 7 %. Esta cifra depende en gran escala de la granulometría del mercurio perdido y también del lavado cuidadoso del contenido de la tina después de terminar el trabajo diario. Este mercurio puede contener cantidades muy pequeñas de amalgama.

#### **5.6.1.2 La canaleta equipada con placa amalgamadora (ver Anexo 6: Dibujo técnico)**

La placa amalgamadora que se utilizó en los ensayos tenía la tendencia de ensuciarse muy rápido en el contacto con el aire, cubriendo la superficie con una película manchada de hidratos y óxidos, lo cual impidió un buen contacto directo de la capa de mercurio con las partículas finas de oro y de mercurio. Esto ocurrió aún en el caso de cubrir la placa con una capa de amalgama de plata, sin embargo, la capa de amalgama de plata causó una reducción de la velocidad de ensuciamiento de la placa amalgamadora. Para remover la película que se forma sobre la superficie de la placa existen diferentes reactivos químicos que la disuelven como por ejemplo sal de amoníaco, cianuro etc.. Pero ninguno evita su formación. Los resultados con este tipo de placa amalgamadora mostraron que no se formó

amalgama de oro por el contacto con la pulpa evacuada del quimbaleta, que significa, que el oro que se pierde durante el deslame tiene que ser muy fino.

### **5.6.1.3 La canaleta rústica con toallas**

En este caso se armó una canaleta de madera de 130 cm de longitud y 20 cm de ancho con una cubierta del fondo de la canaleta que consistió de toallas simples. La canaleta se instaló en la salida del quimbaleta con un pendiente de 10 a 12%. La canaleta trabajó durante el deslame y se levantaron y lavaron las alfombras cada 4 a 8 deslames. Con este tipo de trampa se recuperó hasta 38% del mercurio perdido durante el deslame. En este último caso el quimbaleta causó muchas pérdidas de perlas de mercurio que fácilmente son recuperables con cualquier trampa. Normalmente, la canaleta rústica recuperó entre 9 % y 11 % de las pérdidas de mercurio en el quimbaleta. El mercurio recuperado contiene poca cantidad de amalgama.

### **5.6.1.4 La canaleta metálica con piezas de alfombra (ver Anexo 7: Dibujo técnico)**

En este caso se armaron canaletas metálicas de 120 cm a 480 cm de longitud y 30 cm de ancho con una cubierta del fondo de la canaleta que consistió de piezas de alfombra de tipo “Nomad”, “limpiapie de pelo negro” y “corduróy”. La canaleta se instaló en la salida del quimbaleta con un pendiente entre 10 a 12 %. La canaleta trabajó durante el deslame y se levantaron y lavaron las alfombras cada 3 a 6 deslames. Con este tipo de trampa se recuperó entre 5,5 % y 24 % del mercurio perdido durante el deslame. El valor bajo de recuperación arrojado durante la operación con deslames suaves del quimbaleta de un solo 5,5% tiene principalmente que ver con la granulometría muy fina del mercurio que se perdió en este caso. En promedio, la recuperación de la canaleta metálica como trampa es alrededor de 18% del mercurio perdido.

Cabe anotar que la recuperación aparentemente no depende mucho de la longitud de la canaleta instalada. En tal manera, se recuperó en una canaleta de 4,80 m de largo 16 % del mercurio perdido (ensayo N° 18 ) y con el mismo material en una canaleta metálica de 1,20 metros de longitud se recuperó 18% del mercurio perdido (ensayo N° 19). Un resultado, sin embargo, que también puede ser influenciado en gran medida por la granulometría del mercurio perdido.

## **5.7 La recuperación del mercurio líquido a partir de los concentrados con harina de mercurio**

Harina de mercurio una vez disipada en la pulpa o en los relaves muestra muy poco afán de reunirse de nuevo, formando perlititas mayores de mercurio que fácilmente pueden juntarse, por ejemplo en una tina o una batea. Presionando la harina con la fuerza de los dedos, se puede efectuar una cierta coalescencia de la harina de mercurio. Sin embargo, eso presupone que se ha concentrado previamente la harina en un recipiente adecuada por ejemplo una batea o challa. Concentrando a mano con batea la harina de mercurio contenida en los relaves o en los concentrados de las trampas de mercurio, se tiene que invertir mucho tiempo de trabajo y este trabajo solamente tiene poca recompensación económica. Esto es el trasfondo para buscar un método adecuado para producir un concentrado de harina de mercurio y trasladarla en su estado líquido.

Partiendo de los concentrados que resultaron del repaso de los relaves (ensayo N° 16) se investigó la posibilidad de una segunda concentración utilizando los principios de la flotación así como también el repaso de los concentrados al quimbaleta para efectuar una amalgamación en un quimbaleta cerrado.

### **5.7.1 Segunda concentración de los concentrados gravimétricos por flotación**

La flotación es un proceso físico-químico basado en la diferencia de comportamiento superficial de los minerales involucrados frente a un medio separador (agua). La flotación clásica tiene 8 etapas:

1. Molienda de los minerales con el objetivo de liberar los minerales útiles.
2. Dilución de la pulpa con agua hasta alcanzar una consistencia entre 20 a 40 % sólidos.
3. Agregar un reactivo que modifique las superficies de los minerales e incluso el ambiente de la pulpa.
4. Adición de un reactivo “espumante” que forme espuma elástica y estable en la superficie de la pulpa.
5. Adición de un reactivo “colector” que refuerce las propiedades de no mojabilidad presentada por los minerales “oxiles”.
6. Proporcionar el tiempo necesario para que los reactivos actúen combinado con una agitación para la disipación de los reactivos dando la posibilidad de contacto entre grano de mineral y reactivo.
7. Inyectar aire a la pulpa generando burbujas estables que transporten los minerales colectados a la superficie.
8. Evacuar la espuma mineralizada mediante paleteo o por rebalse.

En el caso de los concentrados gravimétricos de los relaves se sabía que estos se componen principalmente de granos mayores de cuarzo, arenas negras pesadas, mineral de sulfuro (ante todo pirita) así como en cantidades menores de harina de mercurio y oro fino. Además es sabido, que las perlas finas de mercurio flotan fácilmente con los reactivos correspondientes.

Para llevar a cabo la flotación de los concentrados gravimétricos que contienen mercurio se trabajó en el modo batch, utilizando un balde de 5 galones en que se vertió aproximadamente 1 Kg de concentrado de la canaleta. Para poder trabajar con una pulpa de 10% de sólidos se agregó 10 litros de agua. Con el fin de acondicionar la pulpa, se agregaron 5 grs. de cal viva (objetivo: depresante para pirita y pirrotina), 2 grs. de Isobutylxantato (colector para minerales sulfurados y oro nativo), 2,6 grs. de Aceite de pino (espumante usado en la flotación de sulfuros), 1 cm<sup>3</sup> Dowfroth 250 (espumante para flotación selectiva, colector) y 1 cm<sup>3</sup> Aerofloat 208 (colector en la flotación de oro y plata). En general, en el caso de la flotación de mineral preconcentrado, -alta ley de minerales pesados así como de mercurio-, se aplica una sobre dosificación de los reactivos en comparación con la flotación de minerales normales.

La agitación de la pulpa se efectuó con un taladro eléctrico de 0.4 KW de potencia que actuó una broca en forma de una paleta con revolución de 800 RPM (ver foto 9). El giro del taladro produjo un vortex que succionó aire a la pulpa en una manera que se renunció de la inyección de aire a presión. Agitando la pulpa 10 minutos se removió a mano la primera

vez la capa de la espuma producida con un recipiente. Después de otros 5 minutos de agitación se removió la segunda vez la capa de espuma producida y después de otros 5 minutos se removió la última capa de espuma producida. En total tenía el concentrado de flotación producido un peso de aprox. 100 grs. y representa 10% del peso original.



**Foto 9: Flotación en balde**

Esta cantidad de concentrado contenía aprox. 0.6 grs. de mercurio y 0.2 grs. de amalgama que significa una concentración de 6000 grs. de Hg por tonelada del concentrado de flotación así como también de aprox. 2000 grs. de amalgama o aprox. 667 grs. de oro por tonelada de concentrado de flotación.

Si se hubiera flotado todo el preconcentrado de la canaleta bajo las condiciones dadas, se hubiera obtenido de una tonelada de material de relaves aprox. 71 grs. de mercurio líquido y 24 grs. de amalgama.

### **5.7.2 Segunda concentración de los concentrados gravimétricos por la amalgamación**

En este caso se amalgamaron los concentrados de la canaleta junto con el sedimento del quimbalete que consistió de minerales pesados. La amalgamación duró 30 minutos y se efectuó en el mismo quimbalete donde se repulpó los relaves, con 1800 grs. de mercurio líquido. En este ensayo los resultados muestran una recuperación de 85 grs. de mercurio por tonelada de relaves procesados así como una recuperación de 36 grs. de amalgama.

### **5.7.3 Evaluación técnico-económico de la concentración de los preconcentrados gravimétricos por flotación y amalgamación**

Los ensayos muestran que la amalgamación del preconcentrado tiene una mejor recuperación tanto de la amalgama como del mercurio. Además el manejo de la amalgamación es más simple en comparación con la flotación mientras no hay operaciones unitarias de mayor escala. Los costos de operación también presentan una ventaja para la amalgamación de los preconcentrados en el quimbalete, donde el único factor de costo es la mano de obra mientras en la flotación se tiene que añadir a lado de la mano de obra también los costos para los reactivos y la energía utilizado para producir un concentrado que puede servir para la fundición directa.

## **6. SISTEMA DE PRECONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA Y AMALGAMACIÓN DEL PRECONCENTRADO**

Para evitar que todo el volumen del material que esta para procesar en el quimbalete, entre en contacto y resulte contaminado con mercurio una estrategia recomendable es la preconcentración del oro y la amalgamación posterior del preconcentrado en condiciones cerradas para evitar escapes del mercurio y del oro.

Para investigar la posibilidad de la preconcentración del oro en el caso de Huanca se estudió el desempeño de dos diferentes sistemas de concentración: el sistema que combina el quimbalete con la canaleta de concentración aprovechando la capacidad del quimbalete de refinar el mineral y clasificar la pulpa así como también un sistema de lavado directo del mineral polvorizado a través de la canaleta de concentración produciendo un preconcentrado sin uso del quimbalete.

Con el fin de optimizar la canaleta se experimentó con diferentes tipos de trampas de oro, probando una cubierta del fondo de la canaleta con alfombras y pañuelos de corduroy así como con piezas de cuero de cordero. (ver **Anexo 7**: Planes de construcción y condiciones de la operación de la canaleta). La longitud de las canaletas instaladas de concentración varió entre 3,6 y 4,8 metros.

El esquema de operación del sistema que combina quimbalete y canaleta fue el siguiente: El material polvorizado anteriormente en el molido a bolas fue agregado a mano con una dosificación determinada al quimbalete junto con un chorro continuo de agua. La tarea del quimbalete fue empulpar el polvo de mineral así como refinar y clasificar el mineral en una manera que saliera del quimbalete una pulpa conteniendo finos con una estrecha granulometría. Esta pulpa fue dirigido por codos y tubos a la canaleta donde se efectuó la concentración gravimétrica. La canaleta fue instalada con una pendiente de 10 % a 12%. El levantamiento así como el lavado de las alfombras y pañuelos de la canaleta se realizó en intervalos de 20 minutos a 45 minutos según el control del descarte de la canaleta por oro. El caudal de agua en este sistema fue aprox. de 0,5 a 0,7 ltr/s.

Para estudiar el efecto de la utilización del quimbalete en el sistema combinado de concentración gravitacional se investigó también el lavado directo del mineral polvorizado en la canaleta sin uso del quimbalete. En esta ocasión se empulpó el mineral polvorizado seco en un canalón con un chorro de agua. El caudal de agua fue aprox. 0,7 – 0,8 ltr/s. Esta pulpa fue dirigida por el canalón a la canaleta de concentración.

El material que se sedimentó en el quimbalete así como los concentrados producidos en la canaleta fueron amalgamados durante 30 a 60 minutos según su contenido de pirita aurífera. La amalgamación se efectuó cerradamente en el quimbalete. Para no permitir escapes de mercurio tampoco se deslamó el quimbalete después del termino de la amalgamación que hubiera facilitado la liquidación del quimbalete. No obstante, en un ensayo se tenía que deslamar el quimbalete porque la preconcentración en canaleta utilizando como trampas de oro cuero de cordero arrojó una gran cantidad de concentrado cuyo manipulación en la liquidación sin deslame anterior hubiera sido muy engorroso. En la operación del sistema de preconcentración en canaleta durante los ensayos trabajaron 3 trabajadores – un quimbaletero, una persona encargado del suministro de agua y una

persona encargado de la alimentación del mineral. Los flujos de material que se investigaron fueron 100 Kg/hora (ensayo N° 29 y N° 30), 111 Kg/hora (ensayo N° 26, longitud de la canaleta 3,6 metros), 144 Kg/hora (ensayo N° 11, N° 32, N° 33, N° 35 N° 36, N° 37, N° 39, N° 40, N° 42, N° 43 longitud de la canaleta 4,8 metros), 329 Kg/hora (ensayo N° 15, longitud de la canaleta 4,8 metros). Para empulpar esta cantidad de material se agregó 1800 a 2400 ltr/hora resultando en una densidad de la pulpa entre 6 y 13 %.

## **6.1 Los resultados de los ensayos con la canaleta de preconcentración**

### **6.1.1 Amalgamación del concentrado de la canaleta y del material sedimentado en el quimbaleta**

Para investigar la eficiencia de recuperación de la canaleta se amalgamaron en dos ensayos los concentrados de la canaleta separadamente de los sedimentos del quimbaleta. En este caso los resultados de los ensayos muestran que la canaleta recupera 30 a 39% de la amalgama en total producida en el sistema. La mayor parte de la amalgama producida se recupera del sedimento del quimbaleta. (ver tabla de los ensayos **Anexo 3: ensayo N° 15, recuperación 6.3 grs. de amalgama/t del material de sedimento y 3,1 grs. de amalgama/t del concentrado de canaleta, en total 9.4 grs. de amalgama/t recuperada y ensayo N° 11, 5.7 grs. de amalgama/t del material de sedimento y 3,6 grs. de amalgama/t del concentrado de canaleta, en total 9.3 grs. de amalgama/t recuperada**)

### **6.1.2 Comparación con el proceso tradicional**

Los ensayos mostraron que la combinación de quimbaleta y canaleta para la concentración gravimétrica obtiene de 82% a 99 % de la recuperación que se puede lograr con el proceso tradicional de la amalgamación en quimbaleta. En el caso de trabajar con un flujo de material muy alto (ensayo N° 15: 320 Kg/hora),- un flujo de material que tal vez físicamente aún podría pasar por el quimbaleta-, la recuperación bajó a solo 20% de la del proceso tradicional.

### **6.1.3 Influencia de la tasa de alimentación en el proceso continuo en el quimbaleta**

Los resultados determinan claramente la tendencia: cuanto menos la tasa de alimentación tanto más la recuperación lograda. Probablemente, la tasa de alimentación óptima para el sistema de quimbaleta y canaleta utilizado en los ensayos, considerando tanto la eficiencia como recuperación del proceso, estará en el rango entre 100 y 150 Kg de material polvorizado por hora. Para flujos de material mucho mayores se puede esperar una disminución significativa de la recuperación.

Evaluando estas tendencias, se puede tomar la conclusión que en el proceso de concentración continua en canaleta el cuello de la botella del proceso será la capacidad del quimbaleta de producir una pulpa homogénea sin rebosamiento de la pulpa o embancamiento de material dentro del quimbaleta. En otras palabras, no se pueden aumentar sin límites los flujos de pulpa que provienen del quimbaleta y alimentan a la canaleta. Una situación, que tal vez sería deseable bajo el aspecto de aprovechar mejor la capacidad de concentración de la canaleta, y que lamentablemente no es posible sin renunciar a la capacidad del quimbaleta de refinar y clasificar la pulpa. Se mostró en los ensayos que se puede pasar hasta 320 kg de material polvorizado por hora a través del

quimbaleta. Sin embargo, esta alta producción disminuyó considerablemente la recuperación de oro del proceso.

#### **6.1.4 Lavado directo del mineral polvorizado en la canaleta**

Una posibilidad de evitar el cuello de botella de la producción que resulta de la capacidad limitada del quimbaleta de empulpar el mineral polvorizado es el lavado directo del mineral polvorizado en la canaleta, usando un chorro continuo de agua para suspender las partículas de la alimentación y conducir la pulpa a través de un canalón de alimentación a la canaleta de concentración donde se efectúa la preconcentración. Teóricamente este sistema no tiene límites de producción ya que los factores que determinan principalmente la cantidad de la producción, estos son la superficie de la canaleta y el caudal de agua, son de diseño libre. Utilizando una tolva de provisión de suficiente dimensión y una instalación para la suspensión turbulenta antes de la entrada de la canaleta se puede lograr fácilmente una producción de 500 kg por hora si la canaleta está diseñada adecuadamente. El preconcentrado, que también es el producto del lavado directo, se somete igual a la amalgamación en quimbaleta para obtener como producto una pella de amalgama.



**Foto 10: Alimentación directo del mineral polvorizado sin uso quimbaleta**

Comparando la recuperación de oro amalgamado del proceso sin uso del quimbaleta, con el proceso que utiliza el quimbaleta para empulpar el mineral polvorizado junto con la canaleta, se mostró una superioridad relativa en lo que concierne la recuperación del quimbaleta combinado con una canaleta de concentración. Lavando el mineral polvorizado directamente se obtuvo de 82 a 84 % de la recuperación del sistema que combina el quimbaleta con la canaleta. (ver tabla de los ensayos en el **Anexo 3: ensayo N° 33 recuperación 13 grs. de oro/t material 105 minutos polvorizado y lavado directamente, en comparación con ensayo N° 32 recuperación 16 grs oro/t material 105 minutos polvorizado y procesado en sistema combinado. Ensayo N° 39 recuperación 16 grs. oro/t mineral 90 minutos polvorizado y lavado directamente en comparación con ensayo N° 37 recuperación 19 grs. de oro/t de mineral polvorizado 90 minutos y procesado en sistema combinado**). Sin embargo, esta superioridad relativa del sistema combinado se pierde con el aumento de la duración de la molienda, es decir refinando más el mineral en la molienda, hasta igualarse las recuperaciones de los dos sistemas de concentración, si la molienda dura 30 minutos más que la el tiempo usual que se da a la molienda, que en el molino estudiado fue 105 minutos. (ver tabla de los ensayos en el **Anexo 3: ensayo N° 36 recuperación 18 grs. de oro/t material 135 minutos polvorizado y lavado directamente, en comparación con**

*ensayo N° 35 recuperación 18 grs oro/t material 105 minutos y procesado en sistema combinado).*

### **6.1.5 Influencia del tiempo de molienda sobre la recuperación del proceso**

Existen indicadores que en el molino a bolas se efectúa en muchos casos una sobremolienda del material afectando eventualmente negativamente la recuperación de oro. Por lo tanto fue interesante investigar en la práctica los efectos de diferentes tiempos de molienda en el proceso tradicional así como en el proceso con canaleta. Con este fin se realizaron una serie de ensayos comparativos con duraciones de molienda entre 90 minutos y 135 minutos. El resultado del análisis granulométrico del mineral polvorizado saliendo del molino figura en la tabla siguiente.

<b>Duración de la molienda</b>	<b>Material pasante # 100</b>
90 minutos	75 %
105 minutos (estandar)	77 %
135 minuto	87 %

**Tabla: Resultados de la molienda de mineral con distintas duraciones de la molienda**

En general, se puede anotar que el mineral polvorizado que sale del molino bajo la condición estandar, ya tiene una granulometría fina hasta muy fina. La heterogenidad del material investigado durante los ensayos no permitió concluir con rigorosidad en cual manera influyó la finura de la molienda sobre la recuperación de oro, por lo menos en la gama de las diferentes duraciones de molienda que se estudiaron en los ensayos. Cabe decir que aproximadamente 2 toneladas de mineral bruto fueron suministradas por el minero contenido en 20 sacos a cien kilogramos de peso. Una homogenización del lote completo del mineral bruto no fue posible, porque faltaba una cancha adecuada en la planta para realizar esta obra. Además, una homogenización del mineral polvorizado hubiera significado por lo menos 2 días perdidas de molienda antes de poder comenzar con los primeros ensayos en la planta. Para tener una información sobre la ley promedio de oro amagamable en el mineral se confeccionó una muestra representativa de 202 Kg (aprox. 10% del peso total del lote completo) separando de cada tamborada (200 Kg) de mineral molido un balde de aprox. 20 Kg de mineral polvorizado. El ensayo de este mineral de referencia en el proceso tradicional (ver tabla de los ensayos en el **Anexo 3: ensayo N° 45**) arrojó un valor promedio de 19 grs. de oro amalgamado por tonelada de material tratado. A pesar de estas limitaciones, los resultados de los ensayos en que se procesó material de la misma tamboreada de molienda se basan en un mineral homogéneo y son comparable entre si.

Los resultados indican la factibilidad que una molienda más fina que lo normal no perjudica al proceso tradicional de la amalgamación en el quimbaleta. En el otro lado se observa que una molienda más fina que normal produce un incremento considerable en las diferencias relativas de las recuperaciones comparando el proceso tradicional con el proceso de preconcentración en canaleta. En el caso de una molienda de 90 minutos el sistema quimbaleta y canaleta recupera hasta 95% del oro que se obtiene por el proceso tradicional de amalgamación en quimbaleta (ver tabla de los ensayos en el **Anexo 3: ensayo N° 37 recuperación 19 grs. de oro/t material 90 minutos polvorizado y concentrado en sistema combinado y ensayo N° 38 recuperación 20 grs oro/t material 90 minutos y amalgamado**

*en quimbalete*). Sin embargo, moliendo 135 minutos la recuperación del sistema quimbalete y canaleta baja a solo 78% de la del proceso tradicional. (ver tabla de los ensayos en el **Anexo 3: ensayo N° 35 recuperación 18 grs. de oro/t material 135 minutos polvorizado y lavado directamente en comparación con ensayo N° 34 recuperación 23 grs oro/t material 135 minutos polvorizado y amalgamado en quimbalete)**

Se puede presumir, que el oro fino que esté liberado por una molienda más intensiva no estará recuperado en la canaleta de concentración que, como es sabido, no concentra con buen éxito la fracción de oro menos 30 micrones ni la fracción de pirita fina que también puede contener oro ocluido. La amalgamación, sin embargo, no parece ser muy afectada por una molienda muy fina. Por el otro lado, una molienda normal o más gruesa que normal posibilita en la canaleta la recuperación del oro liberado así como también de la pirita aurífera produciendo un preconcentrado, que, sometido a la amalgamación en el quimbalete, arroja casi la misma recuperación de oro que tiene también el proceso tradicional de la amalgamación en quimbalete. Bajo esta hipótesis es más conveniente en el trabajo con canaleta y quimbalete no moler demasiado fino, en particular si se está concentrando un mineral que contiene mucha pirita aurífera. La duración óptima de la molienda bajo el aspecto de la recuperación en el sistema quimbalete y canaleta sería en este caso del mineral investigado 90 minutos o eventualmente menos.

#### **6.1.6 Influencia del tipo de trampa de oro en la canaleta para la recuperación del proceso**

Con el fin de estudiar la influencia del tipo de la trampa de oro en la canaleta para la recuperación del proceso se armó la canaleta metálica de 480 cm de longitud y de 20 cm de ancho utilizando como cubierta del fondo de la canaleta en una de las pruebas alfombras y pañuelos de corduroy con el fin de comparar este resultado con la recuperación de una canaleta equipada con piezas de cuero de cordero como cubierta del fondo. Las piezas de cordero se cortaron a una espesura del cabello de aprox. 2 cm.



**Foto 11: Preparación de las piezas de cordero Foto 12: La canaleta cubierta con piezas de cordero**

La canaleta se instaló en ambas pruebas en la salida del quimbalete con un pendiente de 10 %, levantando y lavando las cubiertas de la canaleta cada 20 minutos. Utilizando la cubierta de cuero de cordero, se notó un significativo aumento de la cantidad de preconcentrado producido en la canaleta. En el caso estudiado, se acumularon aprox. dos veces más concentrados por el uso de los cueros de cordero que en la prueba de referencia, donde se

usó alfombras y pañuelos de corduroy como cubierta. Como consecuencia de la alta cantidad de preconcentrado producida, se tenía que efectuar la amalgamación del preconcentrado en dos cargas en vez de una sola que fue el caso normal utilizando alfombras y pañuelos de corduroy. Además, se tenía que deslamar el quimbalete para reducir la cantidad de material que quedó para la liquidación del quimbalete. A pesar de la mayor cantidad de preconcentrado producido con la cubierta de cuero de cordero, la recuperación de oro bajó en este ensayo tanto en comparación con el proceso tradicional, alcanzando solo 75% de la recuperación obtenida con el proceso tradicional (ver tabla de los ensayos en el Anexo 3: *ensayo N° 43 recuperación 16 grs. de oro/t material polvorizado 105 minutos y procesado en canaleta con cuero de cordero en comparación con ensayo N° 44 recuperación 24 grs oro/t material 105 minutos y amalgamado en quimbalete*) como en comparación con la pruebas en que se utilizaron como trampa de oro en la canaleta alfombras y corduroy, que arrojaron por lo menos una recuperación de 89% a 95% del valor obtenido en el proceso tradicional. En todos estos ensayos se trabajó con el material de la misma tamboreada de molienda. (ver tabla de los ensayos en el **Anexo 3**: *ensayos N° 32 y N° 42 recuperaciones 16 y 18 grs. de oro/t material 105 minutos polvorizado y procesado en proceso combinado en comparación con ensayo N° 31 y N° 38 recuperaciones 18 y 19 grs oro/t material 105 minutos y amalgamado en quimbalete*). Estos resultados significan, que a pesar de los costos menores de inversión para una cubierta de la canaleta con cuero de cordero (20 soles, si está localmente disponible, en vez de aprox. 100 a 120 soles utilizando una cubierta de alfombras sintéticas y corduroy), la mejor recuperación de oro y el manejo más simple de los concentrados resulta en una superioridad de la cubierta de la canaleta con alfombras sintéticas y pañuelos de corduroy. Las pérdidas de mercurio en la amalgamación, a pesar de deslamar en el caso de cuero de cordero y trabajar en un circuito cerrado en el trabajo con las alfombras fueron casi iguales y ascienden a aprox. 50 grs. de Hg por tonelada de mineral tratada.

#### **6.1.7 Pérdidas de mercurio en el proceso semi-continuo**

Pérdidas de mercurio en el proceso resultan de la amalgamación de los concentrados en la última etapa del proceso semi-continuo con el sistema de canaleta para la concentración gravimétrica y la posterior amalgamación del preconcentrado en el quimbalete. Las ventajas de este proceso en relación con las pérdidas de mercurio son:

1. Solamente 5% a 10% del material entra en contacto con mercurio durante la amalgamación (10% a 20% en el caso de una cubierta de la canaleta con cuero de cordero).
2. La amalgamación se lleva a cabo en un equipo cerrado (en el caso de una cubierta de la canaleta con cuero de cordero se trabaja con deslame del quimbalete a causa de la gran cantidad de preconcentrado producido con esta cubierta).

Operando la amalgamación como descrito arriba, las pérdidas de mercurio en los ensayos estuvieron tan bajas como 4 a 22 grs. de mercurio por tonelada de mineral procesada. Sin embargo, trabajando menos cauteloso, la pérdida de mercurio puede aumentarse hasta 100 grs. de Hg por tonelada tratada. Cabe mencionar que el deslame del quimbalete efectuado en el trabajo con la canaleta cubierta con cuero de cordero no incrementó las pérdidas de mercurio. En este caso las pérdidas fueron 52 grs. de Hg por tonelada de material tratada y pueden ser probablemente en una operación industrial aún más reducidas.

### **6.1.8 Evaluación técnico-económico del proceso**

La utilización de la canaleta en la preconcentración de oro y la posterior amalgamación del concentrado abre la posibilidad para los mineros artesanales de procesar minerales con bajas leyes, que en el quimbaletaje tradicional no hubieran estado económicamente procesables. Eso se debe a la relativamente alta tasa de producción posible en la operación con canaleta. Utilizando un quimbalete para empulpar el polvo seco del mineral que proviene del molino a bolas se lograron una tasa de producción económica hasta 150 Kg/hora. Esta tasa de producción significa hasta 3 veces más producción en comparación con el proceso tradicional de la amalgamación por el quimbaletaje.

Además, por el trabajo en un circuito cerrado se logró reducir las pérdidas de mercurio a un nivel tan bajo como 4 grs. por tonelada de mineral procesado.

La comparación directa del sistema semi-continuo de preconcentración y amalgamación en circuito cerrado con la operación tradicional mostró una leve baja de 5% a 13% en la recuperación de oro.

Reduciendo la utilización de mano de obra en el proceso semi-continuo principalmente por la instalación de tolvas de material y de aljibes para almacenar agua que podrían ser operados por el quimbaletero sin dejar su posición sobre el macho del quimbalete, se puede esperar que la producción diaria de un quimbalete llega fácilmente a 900 a 1000 Kg de material polvorizado aprovechando la mano de obra de 1.5 a 2 personas. La producción normal de un quimbalete es 300 Kg por día operado por una persona.

Los costos operacionales en el caso del quimbaletaje tradicional se componen de la mano de obra y del gasto de mercurio. Para procesar 1000 Kg. de mineral polvorizado se estima el tiempo necesario en 3.3 días del quimbaletero que tiene un valor de aprox. 100 Soles. A este valor se tiene que sumar el valor de aprox. 500 grs. de mercurio que se pierde en el proceso y que tiene un valor de 20 Soles. Así los costos totales del proceso tradicional son 120 Soles por tonelada procesada.

En el caso del proceso semi-continuo se utiliza aprox. 2 hombre/días para procesar la misma cantidad de 1 tonelada de material polvorizado resultando en costos operacionales de 60 Soles por tonelada procesada. Esto significa un ahorro de 60 Soles en comparación con el proceso tradicional o sea el valor de 2 grs. de oro ahorrados por tonelada procesada.

Los mineros de la zona Huanca afirman que la ley de corte para sus minerales es aproximadamente 0.3 grs. de oro/lata que corresponde a aprox. 9 a 10 grs. de Au amagamable por tonelada.

Utilizando el sistema nuevo de concentración gravimétrica, se puede reducir la ley de corte en 2 grs. por tonelada logrando un valor de 0.22 a 0.25 grs. de oro por lata posibilitando la explotación de reservas de bajas leyes en las minas así como también de los desmontes y disfrutes que aún se quedaron en las minas

La ley de corte superior del mineral para trabajar con el proceso continuo de la concentración gravimétrica en canaleta se determina por equiparar las pérdidas en la

recuperación del proceso que se supone a 90% con la reducción de los gastos de operación. Este cálculo arroja como ley de corte superior para el trabajo con el sistema una ley de 20 grs. de oro por tonelada o 0.6 grs. de oro por lata.

### **6.1.9 La opción “win-win” para todos los actores y el medio ambiente**

Comparando todos los méritos de la nueva estrategia de concentrar gravimétricamente minerales de baja ley en una canaleta que fue probada en Huanca con su desventaja de recuperar solo aproximadamente 90% del oro recuperable en el proceso tradicional, se muestra claramente la superioridad económica y ambiental del trabajo con canaleta y de la amalgamación en circuito cerrado.

Esta situación presenta una situación clásica en que todos los actores pueden ganar.

Los mineros ganan por:

- Reducción de los costos en el proceso
- Posibilidad de reprocesar desmonte y disfrutes de las minas
- Factibilidad de explotar vetas de leyes más bajas que antes no estuvieron económicamente explotable, mejorando así sus reservas probadas de mineral
- Mejor utilización de los recursos mineros
- Capacitación en nuevas tecnologías productivas

Los planteros o dueños de los quimbaletes ganan por:

- Aumento de la producción en sus plantas
- Mejor ley de los relaves
- Reducción de la concentración de mercurio en los relaves
- Capacitación en nuevas tecnologías productivas
- Mejor utilización de los quimbaletes y de las inversiones

La empresa Dynacor gana por:

- Más producción de la planta
- Menos contaminación con mercurio
- Mejora de las leyes
- Mejor utilización de la planta y de las inversiones hechas

El pueblo de Huanca gana por:

- Más trabajo en las minas y plantas de quimbalete
- Capacitación en tecnología productiva
- Menos contaminación con mercurio

El medio ambiente gana por:

- Disminución de las pérdidas de mercurio
- Mejor utilización de los recursos mineros

## **7. RESUMEN DE LOS HALLAZGOS MÁS IMPORTANTES DE LOS ENSAYOS**

### **7.1 Hallazgos generales**

- Las pérdidas medidas de mercurio del quimbaletaje tradicional ascienden a solamente 30 % de las estimaciones que se hizo en el Ministerio de Minería y Energía. (por lo menos mientras no se procesa mineral con alto contenido de minerales sulfurados)
- Los mineros en parte no saben cuando es más ventajoso vender el mineral directamente a la planta de cianuración por que la mena contiene un bajo porcentaje de oro que es recuperable por amalgamación.

### **7.2 Hallazgos al respecto de trampas de mercurio**

- Trampas de mercurio que trabajan en base de canaletas o recipientes de sedimentación pueden solamente recuperar hasta 35% del mercurio perdido.
- La eficiencia de las trampas disminuye con el aumento de harina de mercurio en las pérdidas
- La orden de las trampas según eficiencia es: Canaleta metálica con alfombras, canaleta rústica con toallas, tina, pozo de sedimentación (chocha)
- No existe una tendencia clara que la recuperación de mercurio aumenta con la longitud de la canaleta.
- Las cantidades de oro y amalgama recuperadas con las trampas son mínimas
- La placa amalgamadora no tenía un efecto positivo en la recuperación de mercurio perdido
- Trampas de mercurio internas (cuello) en el quimbaletaje pueden probablemente reducir las pérdidas de mercurio
- Los concentrados que contienen harina de mercurio producidos en las trampas de mercurio o en el proceso de la concentración gravimétrica en canaleta se debe procesar por la amalgamación en el quimbaletaje sin deslame.
- La flotación de estos concentrados que contienen harina de mercurio es posible, sin embargo la recuperación es menor y los costos operacionales son más elevados que en el caso de la amalgamación.

### **7.3 Hallazgos al respecto del manejo del quimbaletaje**

- La manera de deslamar el quimbaletaje es un factor importante en la reducción de las pérdidas del mercurio
- Las turbulencias generadas en el deslame arrastran perlititas de mercurio de mayor diámetro.
- El deslame vehemente no es necesario para la operación del quimbaletaje.

### **7.4 Hallazgos al respecto del repaso de relaves con el sistema de quimbaletaje y canaleta**

- Se puede reprocesar económicamente relaves de los pozos de sedimentación utilizando un sistema de quimbaletaje y canaleta en que se recupera oro y mercurio.

- Los concentrados que contienen harina de mercurio producidos en las trampas de mercurio o en el proceso de la concentración gravimétrica en canaleta se debe procesar por la amalgamación en el quimbaleta sin deslame.
- La flotación de estos concentrados que contienen harina de mercurio es posible, sin embargo, la recuperación es menor y los costos operacionales son más elevados en comparación con el caso de la amalgamación.

### **7.5 Hallazgos al respecto de los efectos de reactivos en la amalgamación**

- Los reactivos probados para mejorar la recuperación y reducir las pérdidas de mercurio (cal viva, salitre de potasio, soda cáustica, azúcar chancaca, sal de la mesa) no causaron efectos significantes; eventualmente hay una leve tendencias en el caso de la sal de la mesa y salitre de potasio de mejorar la recuperación. En el otro lado el uso de la cal viva y de la sal de la mesa aparentemente ocasionaron un aumento de las pérdidas de mercurio.

### **7.6 Introducción de un sistema de preconcentración y amalgamación en circuito cerrado para trabajar mineral de baja ley**

- Con el quimbaleta y la canaleta que se instaló en Huanca como sistema de producción continua será posible recuperar hasta 95 % del oro que se recupera en el proceso tradicional.
- Las pérdidas de mercurio en este sistema serán aprox. 25 grs. a 50 grs. de mercurio por tonelada mineral procesada que corresponde a una disminución de la pérdidas de mercurio en 90 % en comparación con el proceso tradicional.
- En este sistema, la recuperación depende de la tasa de alimentación de mineral. La tasa de alimentación óptima del quimbaleta es de 100 a 150 Kg de material polvorizado por hora. Sin embargo, renunciando al quimbaleta como equipo de empulpar, y utilizando otra tecnología en que se produce una suspensión con un chorro fuerte de agua que lava fuera el mineral polvorizado de la tolva de abastecimiento, se puede fácilmente lograr una producción de 500 Kg por hora en el proceso de concentración con canaleta.
- Una cubierta de la canaleta con alfombras y pañuelos de corduroy tiene como resultado una mejor recuperación de oro y una menor cantidad de preconcentrado producida en comparación con la cubierta de cuero de cordero.
- Una sobremolienda del mineral reduce la recuperación de la canaleta, por lo menos, si se procesa mineral de pirita aurífera.
- Un sistema combinado de quimbaleta y canaleta es más efectivo que el lavado directo del mineral polvorizado en canaleta.
- El sistema permite reducir los costos de beneficio de mineral en 2 a 2.5 grs. de oro por tonelada de mineral, que significa, que se puede bajar la ley de corte que aún es económicamente factible de explotar de 9-10 grs. a 7 grs. de oro amagamable por tonelada procesada.
- La ley de corte superior para la utilización de este sistema de concentración propuesto será 20 grs. de oro amagamable por tonelada, bajo la presunción, que la recuperación es inalterablemente 90%. Sin embargo, en general se puede suponer que la recuperación debería mejorar con la ley del mineral, ya que se puede partir de la hipótesis que la proporción de oro grueso va a aumentar con una ley creciente.

- La introducción del sistema de concentración con preconcentración en quimbaleta y canaleta y amalgamación en quimbaleta sin deslame podría crear un escenario en que ganan mineros, planteros, la planta Dynacor, el pueblo Huanca y el medio ambiente

## 8. PROYECCIÓN DE UNA PLANTA ARTESANAL DE QUIMBALETE CON CANALETA DE CONCENTRACIÓN

### 8.1 Planificación de una planta minera

Una planta artesanal combinando el quimbaleta con la canaleta de concentración podría producir beneficios importantes para el minero artesanal como ya fue probado en el estudio realizado en Huanca por el Proyecto GAMA. Sin embargo la proyección de una planta de beneficio, sea artesanal o sea de escala grande, debería siempre fundamentarse en una evaluación técnico-económico de la factibilidad, comenzando con el lado minero del proyecto considerando ante todo las reservas en su cantidad y calidad así como la producción minera. No obstante, en un proyecto de la pequeña minería la profundidad con que se va a examinar los factores técnicos- económicos del proyecto de una planta de beneficio es de un alcance menor.

Los parámetros que están para estudiar y analizar en particular en la primera fase de la proyección de la planta artesanal de quimbaleta y canaleta de concentración son:

- **Reservas mineras del proyecto** (demostradas, probables, potenciales o indicadas, tipos de minerales)
- **Producción minera** (estandar y peak en el curso del año, eventualmente incrementos de producción en el transcurso del proyecto, límites de producción, tipos de minerales, mineralogía, leyes del mineral)
- **Riesgos de la producción** (legales, temporadas, subasta con insumos, geológicos etc.)
- **Productos mineros** (primario, secundario, impurezas, precios, productos alternativos)
- **Comercialización** (estabilidad y proyección de precios para productos, disponibilidad de compradores, precios para productos alternativos)
- **Pruebas metalúrgicas** (ya realizado en Huanca)

Analizando estos datos se puede determinar los parámetros de diseño que en particular abarcan: vida útil, tipo proceso y capacidad planta. La planificación de la planta en detalle constituye:

- Definición ciclo de operación
- Diagramas de flujo
- Balances de materia y de energía
- Diagramas de cañería e instrumentación
- Diseño y selección de equipos
- Selección del lugar de ubicación
- Selección de materiales de construcción
- Dimensionamiento preliminar de equipos
- Cotización y evaluación de equipos
- Determinación de los insumos de operación

- Manejo de descartes de la producción

Con estas informaciones se puede elaborar el estudio de factibilidad del proyecto que debería incluir:

- **Costos operacionales en mina y planta:** numero de trabajadores y personal administración, costos trabajo, energía, agua, explosivos, de consumo, reparación y mantención, servicios terceros, arriendo terreno, expensas para consultoría, etc.
- **Ingresos y utilidad:** permitiendo deducción para costos transporte, embalaje, impuestos y regalías, depreciación y amortización de equipos, instalaciones y reservas
- **Costos de administración:** contador, auditoría etc.
- **Inversiones, capital necesario y costos de capital:** costos para bienes importados y locales, más transporte de esos, construcción planta y desarrollo minero, compra terreno, tributo de aduana, cancelación de créditos y prestamos, intereses.
- **Capital de trabajo:** es necesario para allanar el periodo en que se ocasionan expensas para cubrir los costos operacionales y todavía no ocurren ingresos por la venta de productos.
- **Estudio de Impacto Ambiental:** impactos ambientales, sociales y culturales

## 8.2 Mejora de la eficiencia operacional del sistema de producción: quimbalete y canaleta

Sin perjuicio del anterior mencionado en el párrafo 8.1, las pruebas metalúrgicas realizadas en Huanca ya muestran la necesidad de mejorar la eficiencia del proceso en el sistema de quimbalete y canaleta de concentración para poder lograr una operacio nabilidad económica del proceso modificado. Las ensayos metalúrgicos en Huanca, en primer lugar fueron realizados bajo el concepto de producir informaciones en lo que concierne la recuperación de oro y la perdidas de mercurio del proceso tradicional comparandolas con las del proceso modificado. La productividad del proceso solamente fue investigado teóricamente usando los datos obtenidos durante la realización del estudio. Estas reflexiones indican que los problemas de eficiencia del proceso modificado provendrán de la alimentación de agua y mineral al quimbalete que durante las pruebas se efectuó ineficientemente a mano, así como del levantamiento y lavado de las alfombras de la canaleta, porque cada lavado significaba un paro de la actividad del quimbaleteo.

### 8.2.1 Aumento de la eficiencia de la mano de obra por la utilización de tolva y aljibe

#### 8.2.1.1 Tolva de material para la alimentación continua del quimbalete

Con el fin de mejorar la eficiencia de la alimentación del mineral polvorizado al quimbalete, que significa acomodar un flujo de material sólido de aproximadamente 2 Kg por minuto, se propone equipar el quimbalete con una tolva de material de una capacidad de aprox. 500 Kg que permite una operación continua del quimbalete con una duración de 3 a 4 horas. La alimentación del mineral debería ser manejado por el quimbaletero sin la necesidad de bajar del quimbalete o parar el movimiento del macho. Esto significa, que el quimbaletero puede de su posición encima del quimbalete actuar el distribuidor que ajusta el flujo del material. Además, necesita el quimbaletero una herramienta para causar vibraciones a la tolva con el fin de soltar obstrucciones en la salida del material.

### **8.2.1.2 Estanque para la alimentación continua del agua**

Las pruebas con el proceso semi-continuo de la concentración en canaleta mostraron que se necesita un caudal continuo de 1800 a 2400 ltr de agua por hora que corresponde a un flujo de 30 a 45 ltr/min.. Para poder asegurar el abastecimiento de una planta del proceso combinado de una capacidad de tratamiento de 5 toneladas al día, que corresponde teóricamente a la producción de 5 quimbaletes, se requiere un estanque que contiene aprox. 100 m<sup>3</sup> de agua. El agua utilizado en el proceso puede ser totalmente reciclado. La capacidad del estanque puede ser reducida en la medida en que se logra establecer una recirculación continua del agua del proceso. El quimbaletero debe regular el flujo vertido al quimbalete inhibiendo o ocasionando el flujo de agua por la actuación de una llave o válvula.

### **8.2.1.3 Operación de canaletas paralelas**

Es posible, por la operación de canaletas paralelas, - una canaleta está concentrando mientras la otra canaleta está parada para levantar y lavar las alfombras -, trabajar continuamente en la planta aprovechando la plena capacidad del quimbalete de empulpar mineral polvorizado. En este caso se operaría en la manera siguiente las canaletas paralelas: La etapa de concentración en canaleta comienza con la pulpa que sale del quimbalete. Esta pulpa está dirigida a la canaleta y pasa allá por la canaleta, con una velocidad y altura del flujo, que estará determinada por la inclinación de la canaleta. El estrato inferior del caudal estará en contacto con la cubierta de la canaleta. Las partículas pesadas se depositan en las trampas de oro que formará la cubierta de la canaleta. Una vez saturada la canaleta con concentrados de oro,- un hecho que estará siempre para probar por el operador de la canaleta, quien tiene que controlar regularmente las colas por partículas de oro que están descartadas de la canaleta utilizando la poruña o chaya -, se mueve el codo de la salida del quimbalete a su posición nueva alimentando a la canaleta paralela que está preparada y esperando de manera “stand-by”. Una vez comenzando a operar esta canaleta paralela, el operador tiene suficiente tiempo de desarmar la primer canaleta para levantar, lavar y reponer de nuevo las alfombras, poniéndola a la canaleta a disposición para el próximo ciclo de concentración.

## **8.3 Diagrama de flujo en una planta artesanal de quimbalete y canaleta**

El **Anexo 8**: Diagrama de flujo en una planta artesanal de quimbalete y canaleta se muestra esquemáticamente los flujos de agua y materia así como los productos y procesos de la planta proyectada.

## **9. TALLER DE DIFUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO LOGRADOS HASTA EL MOMENTO**

En sus esfuerzos por promover y difundir tecnología limpia de producción en la minería artesanal, el Proyecto GAMA buscó un enfoque participativo para comunicar los resultados del estudio logrados hasta el momento. Con este fin se realizó en Huanca el día 9 de noviembre de 2002 un taller de difusión de los resultados del estudio ofreciendo a los mineros de Huanca una plataforma para la discusión de la factibilidad de la introducción de una tecnología menos contaminante en la minería artesanal. En esta ocasión enfatizaron los mineros de Huanca la necesidad de asociarse para poder llevar al efecto la construcción de una planta de tecnología limpia. Este taller de difusión fue parte de la participación general

de los mineros de Huanca en el desarrollo de tecnología apropiada para la minería artesanal contribuyendo con sus:

- conocimientos de los problemas,
- visiones comunes,
- experiencias laborales e
- intuiciones,

haciendo posible que los propios actores generaron junto con GAMA propuestas realistas para la introducción de tecnología apropiada que sea menos contaminante, barata en la inversión y productiva.



**Foto 13: Participantes del Taller en Hunca**

## 10. RECOMENDACIONES GENERALES PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO AMBIENTAL DEL QUIMBALETEO

Una investigación de los suelos en el entorno de los quimbaletes utilizando puruña y platón mostró que trazas de mercurio se encuentran en el entorno de las plantas hasta en los caminos del pueblo y en las chacras vecinas indicando una contaminación sería del suelo. La tabla siguiente da recomendaciones simples para reducir la contaminación en corto plazo.

N°	Descripción	Efectos	Actores
1	Piso de cemento para cancha de secado de relaves	Reducción infiltraciones, contaminación de suelo y concentrados	Implementación por el dueño quimbalete
2	Protección al viento de los relaves secados	Reducción de la generación de polvo, de la contaminación de suelo y del medio ambiente, disminución de perdidas del concentrado	Implementación por el dueño quimbalete
3	Piso de cemento para área alrededor del quimbalete	Reducción de perdidas de material de proceso, derrames de Hg pueden ser recogidos, reducción de contaminación del suelo, evitación de infiltraciones	Implementación por el dueño quimbalete
4	Mesa de fierro o tina de cemento para el trabajo de ahorcar Hg	Reducción de perdidas de material de proceso, derrames de Hg pueden ser recogidos, reducción de contaminación del suelo, evitación de infiltraciones	Implementación por el dueño quimbalete
5	Deslame suave de los quimbaletes	Reducción de la perdida de Hg en el proceso	Operador del quimbalete
6	Utilización trampas de Hg (canaleta scavenger, otras)	Recuperación del Hg perdido en el proceso	Operador del quimbalete
7	Mejora constructiva del quimbalete	Reducción de la perdida de Hg en el proceso	Constructor y dueño del quimbalete
8	Preconcentración en canaleta y amalgamación del concentrado en quimbalete	Menos material en contacto con Hg, trabajo sin deslame posible	Operador del quimbalete
9	Capacitación en el manejo de la amalgamación	Reducción de la contaminación del ambiente laboral	Dirigido al operador y dueño quimbalete
10	Trabajo limpio con el mineral	Reducción de perdida y contaminación del mineral	Dirigido al operador y dueño quimbalete y molino

## ESTUDIO PARA MEJORAR EL PROCESO DE QUIMBALETEO MINIMIZANDO LAS PERDIDAS ALTAS DE MERCURIO

### **ÍNDICE DE BIBLIOGRAFÍA**

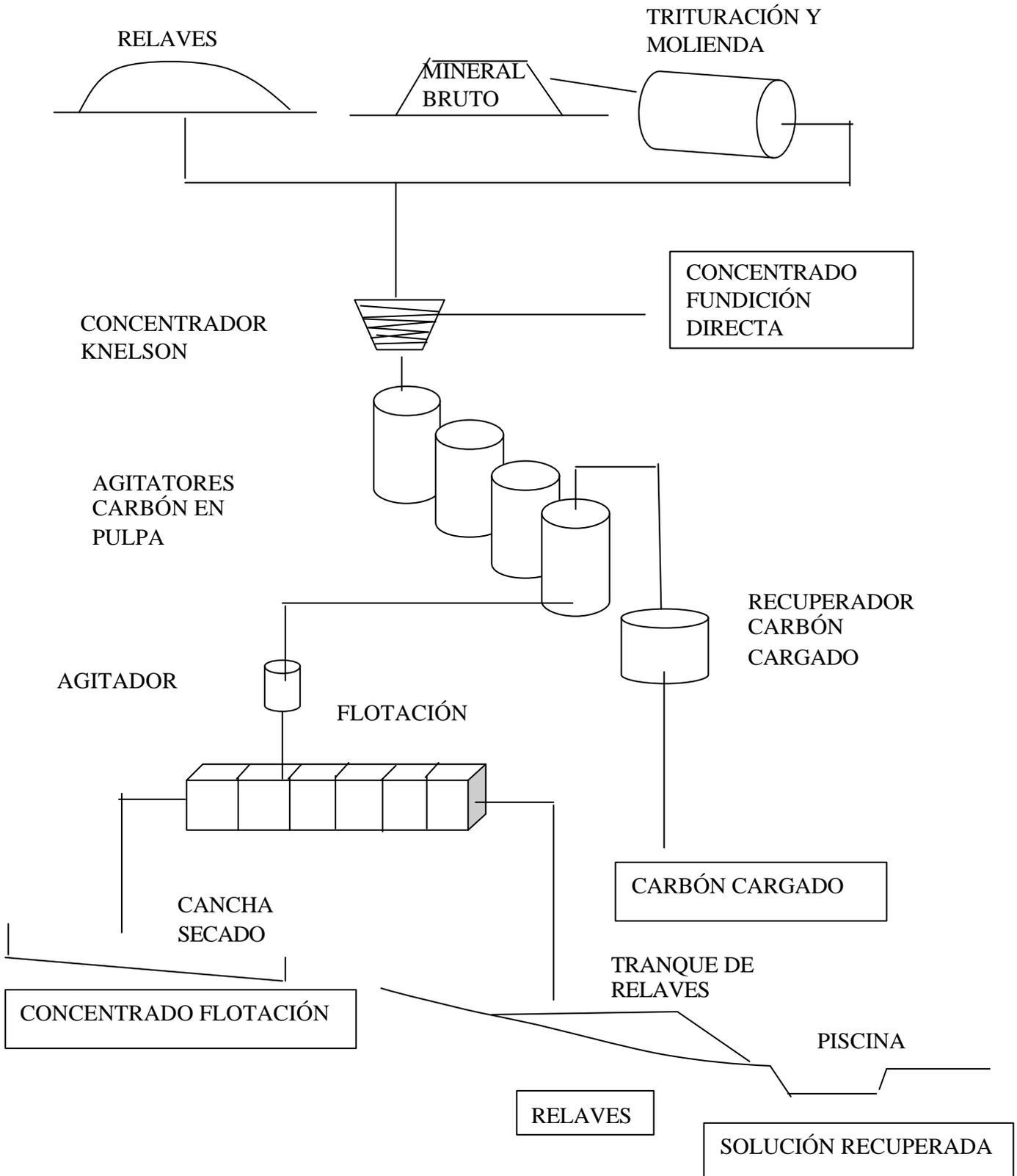
- (1) Consorcio MAS: Propuesta para un plan de Acción para el proyecto GAMA. Lima 1999
- (2) Klohn Crippen: Estudio de Evaluación Ambiental Territorial de Costa Sur y Arequipa. MEM/Metal 1998.  
<http://www.mem.gob.pe/wmem/publica/aa/evats/costa%20sur/costa5.pdf>
- (3) EPN: Informe Técnico (doc interno GAMA) Lima, Quito 2001

#### OTRA LITERATURA REFERENCIAL

- Leonardo Cornejo F: Principios de Amalgamación, El Trapiche, La Serena 1989
- Carlos Covarrubias C: Manual de Operaciones Planta de Trapiches, 1995
- Arthur F. Taggart: Elementos de preparación de minerales, 1966

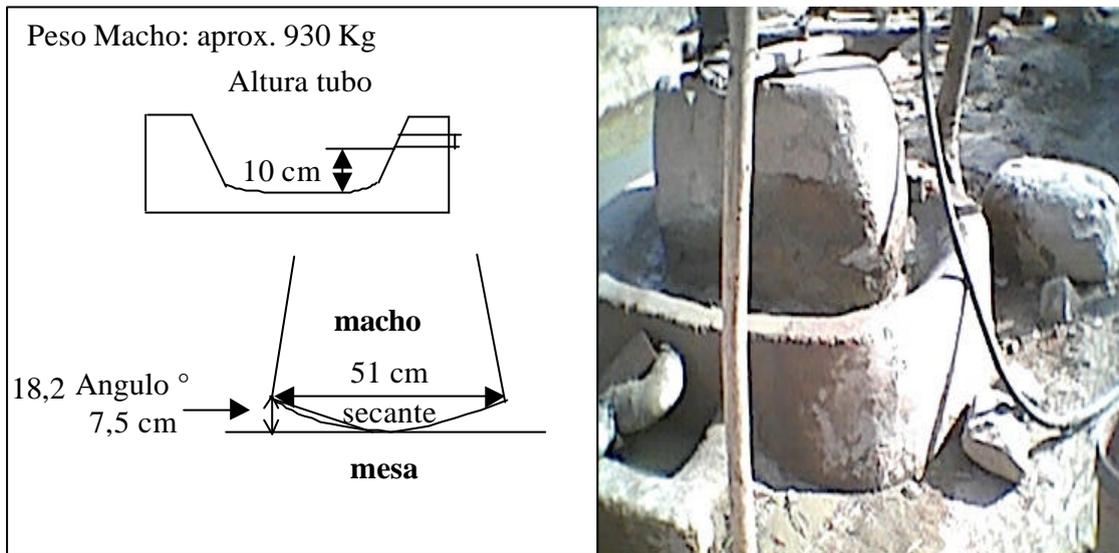
# ANEXOS

# ANEXO 1: DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA DE CIANURACIÓN DYNACOR EN HUANCA

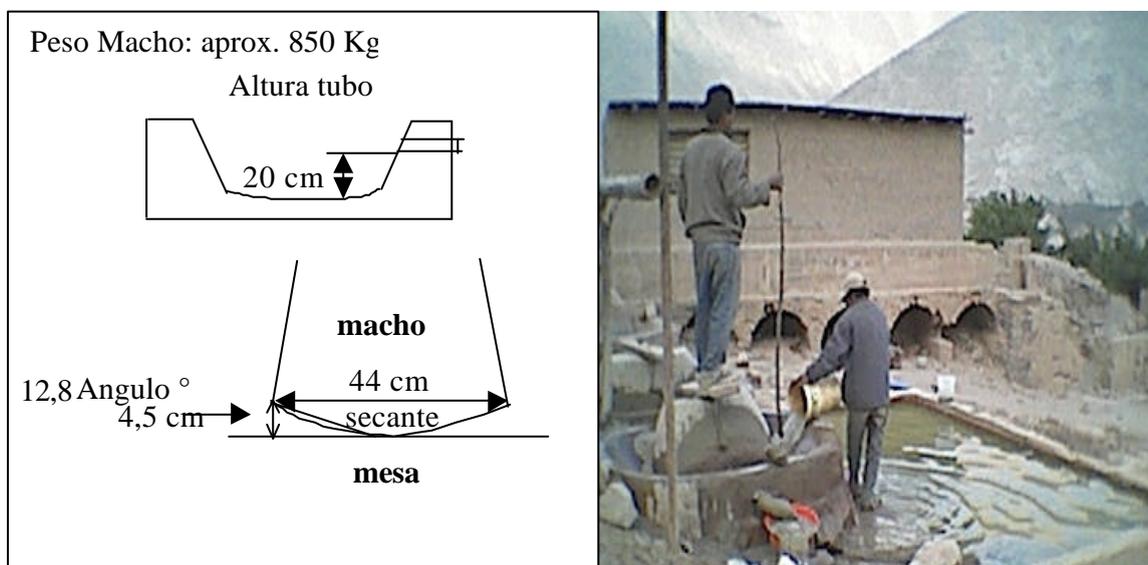


## ANEXO 2: Datos Técnicos de los quimbaletes usados en los ensayos

### Quimbalete 1 (Planta I)



### Quimbalete 2 (Planta I)



### Quimbalete 3 (Planta I)

Peso Macho: aprox. 605 Kg

Altura tubo

17 cm

18,5 Angulo °  
6 cm

macho

40 cm

secante

mesa



### Quimbalete 4 (Planta I)

Peso Macho: aprox. 784 Kg

Altura tubo

21 cm

18,1 Angulo °  
7 cm

macho

48 cm

secante

mesa



### Quimbalete 5 (Planta II)

Peso Macho: aprox. Kg

Altura tubo

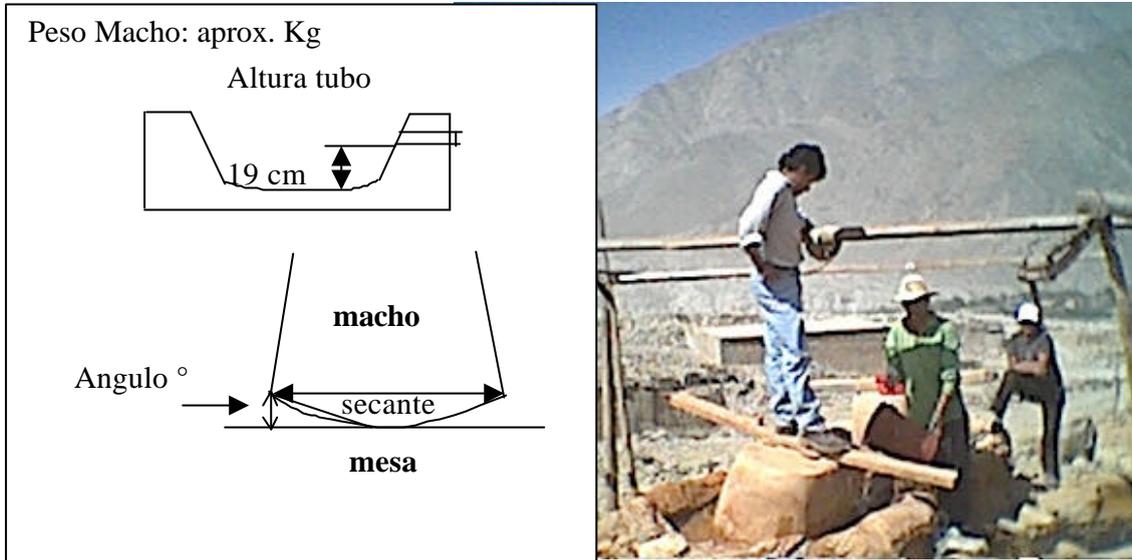
19 cm

macho

Angulo °

secante

mesa



### Quimbalete 6 (Planta II)

Peso Macho: aprox. Kg

Altura tubo

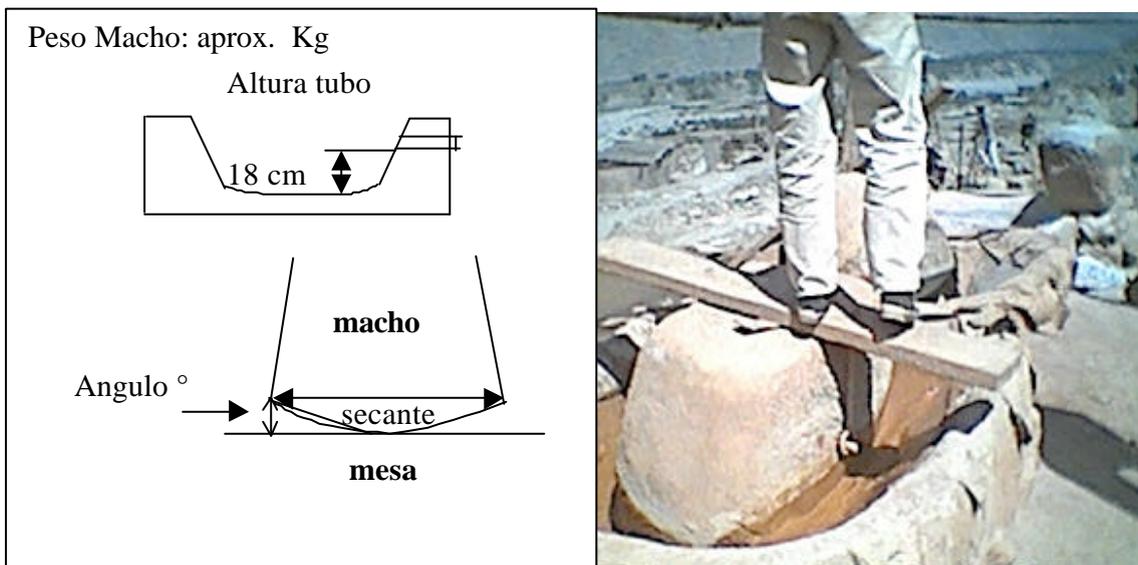
18 cm

macho

Angulo °

secante

mesa



### ANEXO 3: Resultados y parametros de las pruebas con quimbaletete en Huanca

Fecha y N° ensayo	N° Quimbaletete	Condición de trabajo	Tipo de trampa o concentración	Kg mineral procesado	Tipo de mineral	duración proceso min.	Duración efectivo amalgamación	Observaciones al respecto del deslame	Grs. Amalg. Prod./ t mineral	Perdida Hg en grs/t	Mercurio recuperado en trampa en grs/t	
16.8.2002 N° 1	1	Tradicional	Canaleta rústica	192	veta A, poco sulfuroso	280	240	Deslame normal	19	347	31	
16.8.2002 N° 2	2	Tradicional		192	veta A, poco sulfuroso	280	240	Deslame normal	36	273	16	
17.8.2002 N° 3	1	Tradicional	Canaleta rústica	264	veta A, poco sulfuroso	407	330	Deslame normal	25	230	87	
17.8.2002 N° 4	2	Tradicional	Canaleta con plancha amalgamadora	264	veta A, poco sulfuroso	385	330	Deslame suave	27	122	-	
19.8.2002 N° 5	1	Tradicional	Con cuello en descarga canaleta con placa amalgamadora	240	veta B, poco sulfuroso	350	300	Deslame suave	22	94	-	
19.8.2002 N° 6	2	Soda caustica 2083 grs/t		240	veta B, poco sulfuroso	350	300	Deslame normal	23	231	-	
19.8.2002 N° 7	3	Tradicional	Canaleta rustica	240	veta B, poco sulfuroso	350	300	Deslame normal	13	150	17	
20.8.2002 N° 8	1	Tradicional	Canaleta de metal	240	veta B, poco sulfuroso	350	300	Deslame suave	18	75	4	
20.8.2002 N° 9	2	Nitrato de potasio 2083 grs/t	Tina	240	veta B, poco sulfuroso	350	300	Deslame normal	24	209	-	
20.8.2002 N° 10	3	Tradicional	Cuello descarga	240	veta B, poco sulfuroso	350	300	Deslame normal	20	70	-	
21.8.2002 N° 11	1	Proceso semi-continuo	concentración en quimba	192	veta C1, poco sulfuroso	110	30		6		-	
			concentración en canaleta	192		110	30		4		-	
		<b>Total</b>		192		140	60	Sin deslame	9	4	-	
21.8.2002 N° 12	2	Tradicional	Con cuello en descarga	192	veta C1, poco sulfuroso	280	240	Deslame normal	11	331	78	
28.8.2002 N° 13	2	Tradicional	con cuello en descarga	96	veta C2, poco sulfuroso	140	120	Deslame normal	24	484	21	
28.8.2002 N° 14	2	Tradicional	con cuello en descarga	96	veta C2, poco sulfuroso	148	120	Deslame suave	23	131	6	
28.8.2002 N° 15	1	Proceso semi-continuo	concentración en quimba	192	veta C, poco sulfuroso	65	30		6	17	-	
			concentración en canaleta	192			30		3	3	-	
		<b>Total</b>		192		125	60		9	15	-	
29.8.2002 N° 16	4	proceso semi-continuo	concentración en quimba y canaleta	220	relaves	120	30		35	-84	-	
			recuperación por flotación	1					200	-733	-	
			recuperación por amalgamación	25					304	-699	-	
30.8.2002 N° 17	2	tradicional	Tina	300	oxidado	464	400	Deslame normal	136	452	-	
30.8.2002 N° 18	4	tradicional	canaleta metálica de 1,2 m	300	oxidado	464	400	Deslame normal	111	170	27	
31.8.2002 N° 19	2	cal viva 75 grs/carga	canaleta metálica de 1,2 m	320	oxidado	493	425	Deslame normal	112	651	119	
31.8.2002 N° 20	4	canchaca 50 grs/carga	tina	300	oxidado	464	400	Deslame normal	103	148	3	
1.9.2002 N° 21	2	mineral bruto	canaleta metálica de 1,2 m	60	oxidado	420	400	Deslame normal	2600	1766	270	
2.9.2002 N° 22	4	proceso semi-continuo, jugo de tuna, amalgama de sodio	concentración en quimba y canaleta	220	relaves	165	45		15	-122	-	
2.9.2002 N° 23	4	proceso semi-continuo	concentración en quimba y canaleta	220	relaves	90	30		13	-82	-	
4.9.2002 N° 24	5	Tradicional	canaleta metalica 2,4 m	111	oxidado	180	150	Deslame normal	34	301	54	
4.9.2002 N° 25	6	Tradicional	Canaleta con plancha amalgamadora	111	oxidado	180	150	Deslame normal	33	248	-	
5.9.2002 N° 26	5	proceso semi-continuo	canaleta conc. 3 partes	111	oxidado	90	30		30	25	-	
5.9.2002 N° 27	6	100 grs sal por balde (18,5 Kg)	Tina	111	oxidado	180	150	Deslame normal	36	679	50	

Fecha y N° ensayo	N° Quimbaleta	Condición de trabajo	Condición canaleta	Kg mineral procesado	Tipo de mineral	duración proceso min.	Duración efectivo amalgamación	Duración molienda en tambor en min.	Grs. Amalg. Prod./ t mineral	Oro recuperdo en grs/t	Perdida Hg en grs/t	Observación
5.11.2002 N° 28	2	tradicional	Alfombra sintetica 4,8 metr. Largo, 20 cm ancho	133	sulfuro	240	200	105	22.6	9	647	Lote de event. diferentes moliendas
5.11.2002 N° 29	4	quimba y canaleta		66.5	sulfuro	40	60	105	13.5	5	96	
5.11.2002 N° 30	4	canaleta		66.5	sulfuro	40	60	105	21.1	8	16	
6.11.2002 N° 31	2	tradicional	Alfombra sintetica 4,8 metr. Largo, 20 cm ancho	176	muy sulfuroso	280	240	105	53.4	18	203	Lote de la misma molienda
6.11.2002 N° 32	4	quimba y canaleta		88	muy sulfuroso	100	60	105	39.8	16	178	
6.11.2002 N° 33	4	canaleta		88	muy sulfuroso	100	60	105	31.8	13	47	
7.11.2002 N° 34	2	tradicional	Alfombra sintetica 4,8 metr. Largo, 20 cm ancho	176	muy sulfuroso	280	240	135	75.6	23	262	Lote de la misma molienda
7.11.2002 N° 35	4	quimba y canaleta		88	muy sulfuroso	100	60	135	44.3	18	73	
7.11.2002 N° 36	4	canaleta		88	muy sulfuroso	100	60	135	47.7	18	127	
7.11.2002 N° 37	4	quimba y canaleta	Alfombra sintetica 4,8 metr. Largo, 20 cm ancho	88	muy sulfuroso	100	60	90	48.9	19	36	Lote de la misma molienda
8.11.2002 N° 38	2	tradicional		176	muy sulfuroso	280	240	90	64.2	20	264	
8.11.2002 N° 39	4	canaleta		88	muy sulfuroso	100	60	90	40.9	16	75	
8.11.2002 N° 40	4	canaleta	Alfombra sintética 4,8 m	88	muy sulfuroso	100	60	105	23.9	10	98	Lote de la misma molienda
8.11.2002 N° 41	2	tradicional		88	muy sulfuroso	140	120	105	61.4	19	141	
8.11.2002 N° 42	4	quimba y canaleta	Alfombra sintética 4,8 m	88	muy sulfuroso	100	60	105	52.3	18	56	
9.11.2002 N° 43	4	quimba y canaleta	Cuero cordero 4,8 metr. Largo, 20 cm ancho	176	muy sulfuroso	140	60	105	42.0	16	52	Lote de la misma molienda
9.11.2002 N° 44	4	tradicional		88	muy sulfuroso	140	120	105	69.3	24	45	
9.11.2002 N° 45	2	tradicional		202	muy sulfuroso	305	270	-	62.9	19	414	mezcla que contiene 1 balde de todas las moliendas efectuadas

## ANEXO 4: ANÁLISIS QUIMICO

### CERTIFICADO DE ANALISIS QUIMICO

**Procedencia** : SECCION ANALITICA  
**Muestras de** : MINERAL  
**Cargo** : SUBGERENCIA DE MINERIA  
**Observaciones** : SR. JURGEN VASTERS

Fecha entrega **09/10/2002**

**Nº 2922**

MUESTRA	O.T.		Mina/Veta	Sierra	Productor		Oro g/t	
1	1848		Casco verde	Arrenal	Javier Ochoa		10.80	
2	1848		Españolita	Arrenal	Severio Barrantes		31.40	
3	1848		Casco verde	Arrenal	Luis Montes		25.50	

C.C. : ARCHIVO

ANEXO 4b: ANÁLISIS QUIMICO SEGÚN GRANULOMETRÍA

**Mina Casco Verde**

**Material molido**

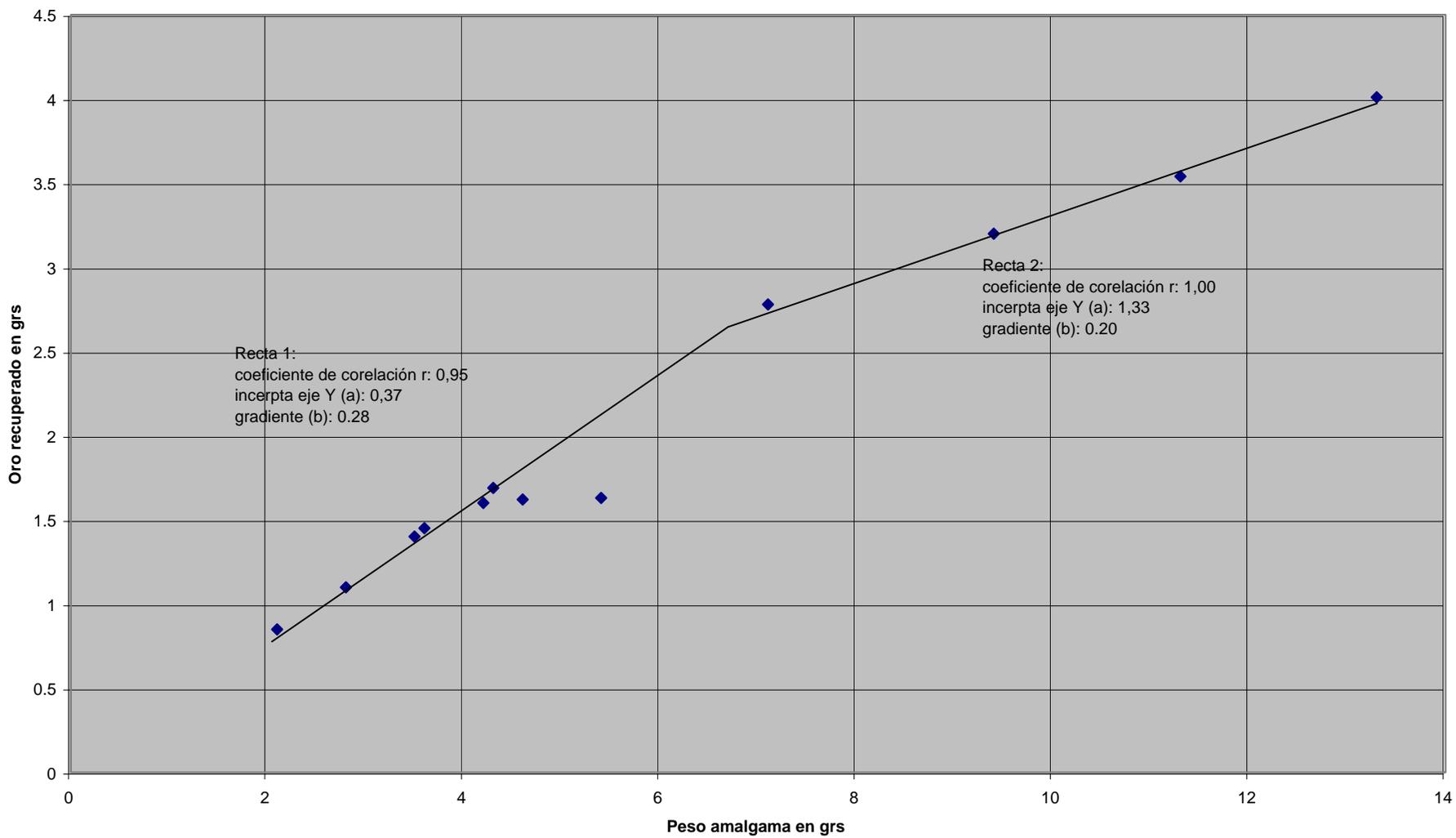
**Muestra 1:**

	<b>% peso</b>	<b>Au g/t</b>	<b>% Au</b>
> 20 µm	70.67	11.00	67.95
< 20 µm	29.33	12.50	32.05
<b>total</b>	<b>100</b>	<b>11.44</b>	<b>100.00</b>

**Muestra 2:**

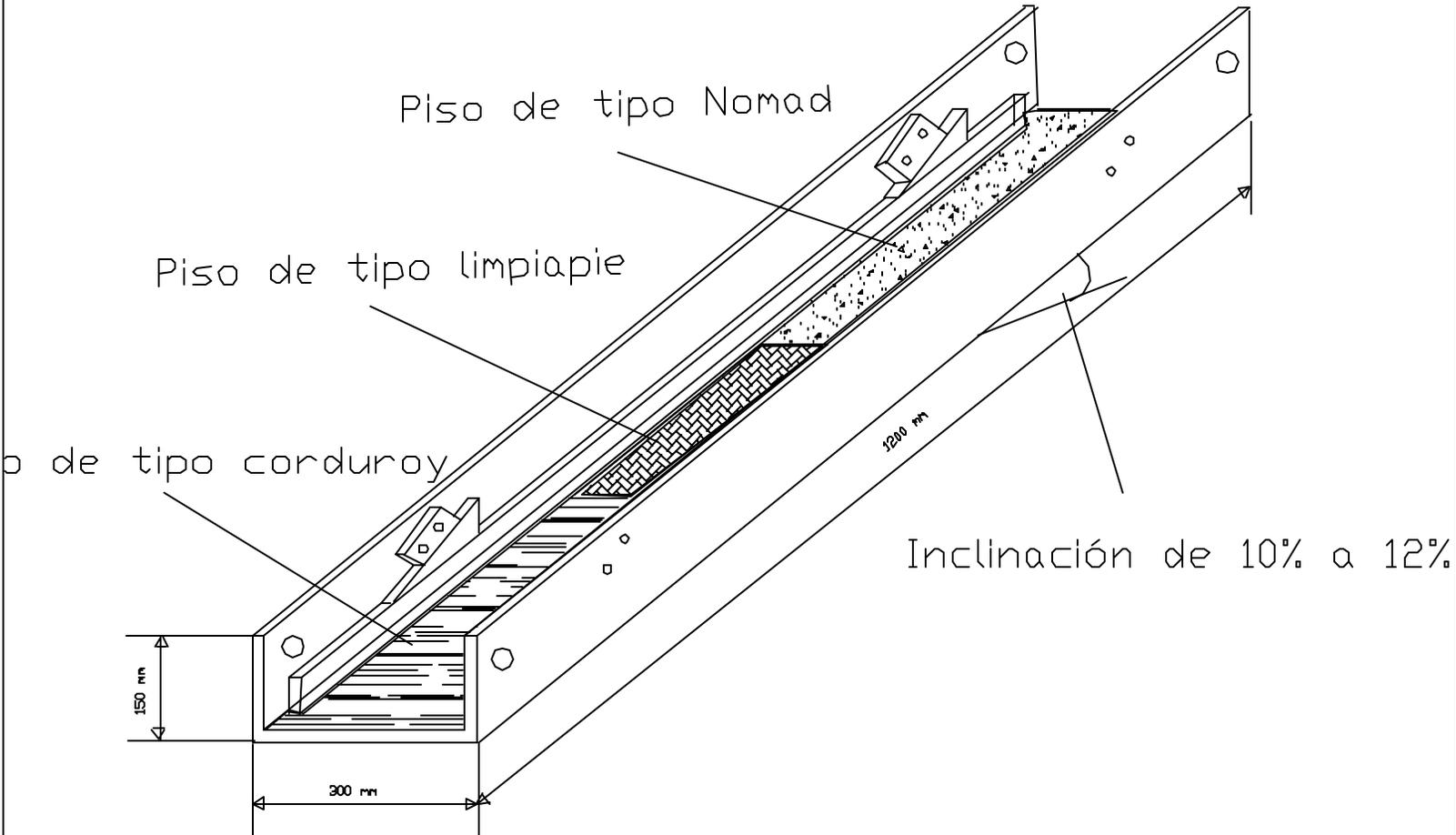
	<b>% peso</b>	<b>Au g/t</b>	<b>% Au</b>
> 20 µm	42.58	8.78	40.95
< 20 µm	57.42	9.39	59.05
<b>total</b>	<b>100</b>	<b>9.13</b>	<b>100.00</b>

## ANEXO 5: Relación oro en amalgama





# ANEXO 7: Canaleta de módulo metálico



ANEXO 8: DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA PLANTA ARTESANAL DE QUIMBALETE Y CANALETA

